



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL:** DISEÑO DE UN NUEVO MODELO PARA EL BICING

**AUTOR:** RAÚL ÁLVAREZ COLMENERO

**TITULACIÓ:** INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL

**DIRECTOR:** JOAN SANGRA

**DEPARTAMENT:** EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA.

**TÍTOL:** DISEÑO DE UN NUEVO MODELO PARA EL BICING

**COGNOMS:** ÁLVAREZ COLMENERO

**NOM:** RAÚL

**TITULACIÓ:** INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL

**ESPECIALITAT:** MECÁNICA

**PLA:** 1995

**DIRECTOR:** JOAN SANGRA

**DEPARTAMENT:** EXPRESIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA

**QUALIFICACIÓ DEL PFC**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENT**

**SECRETARI**

**VOCAL**

**DATA DE LECTURA:**

## PROJECTE FI DE CARRERA

### RESUM (màxim 50 línies)

El siguiente proyecto consistirá en un estudio de los elementos y sistemas que componen el modelo actual de bicicleta empleado por la empresa que gestiona el servicio del Bicing para tratar de deducir un modelo más optimizado. Primeramente se realizará un estudio básico de los elementos y sistemas que componen una bicicleta urbana. Mostraremos las características básicas de los elementos estructurales y funcionales de la bicicleta para tratar de obtener una noción básica sobre el funcionamiento de la bicicleta. Trataremos de diseñar los componentes estructurales que mayor protagonismo tienen en la integridad estructural como lo son la potencia, horquilla, cuadro y manillar para tratar de mejorar las cualidades mecánicas de éstos y que ello se traduzca en un modelo más eficiente para los ciclistas. Las propiedades mecánicas a conseguir en los elementos estructurales de la bicicleta vienen impuestas por su geometría, dimensionamiento y el material empleado. Las propiedades mecánicas que diferencian en mayor medida un cuadro a otro son la rigidez i elasticidad. Dependiendo de las cualidades que queramos obtener en la bicicleta, ya sea, maniobrabilidad, agilidad, eficiencia energética, confortabilidad nos decantaremos por un cuadro más elástico o más rígido. Definida la geometría, mediante el estudio de tensiones realizaremos los dimensionamientos mínimos teniendo como referencia las cargas reglamentarias referentes a los requisitos de seguridad y métodos de ensayo para bicicletas de paseo destinadas a un uso urbano. Emplearemos estos ensayos reglamentarios para verificar la calidad de los elementos mediante herramientas digitales basadas en cálculos por elementos finitos. El programa seleccionado es el NX8.0 en el cual definiremos las condiciones de contorno para recrear de la forma más precisa posible las condiciones físicas que padecerían los componentes al ser ensayados. Se realizarán un conjunto de ensayos estáticos y ensayos de fatiga. Los ensayos de fatiga se basan en unos antecedentes estáticos por lo que realizaremos primeramente los ensayos estáticos precisos. Los requisitos impuestos generalmente serán límites de deformación y límites de tensión ya que el requisito básico en cualquier ensayo es evitar la rotura de la pieza. Nos apoyaremos en el software también para tratar de ver el grado de optimización de las propiedades mecánicas de los dos modelos estructurales. En cuanto a los componentes funcionales de la bicicleta, según las prioridades y limitaciones y teniendo en cuenta los componentes empleados en el modelo actual asignaremos al nuestro el más idóneo. Se definirán en el pliego de condiciones todas las normativas las cuales nos hemos regido y los procesos de fabricación referentes a los elementos diseñados. Por último realizaremos un presupuesto tratando de mostrar la viabilidad económica de la propuesta y redactaremos las conclusiones extraídas durante la realización del proyecto.

--

**Paraules clau (màxim 10)**

Bicicleta urbana	Deformaciones	Von Mises	UNE EN 14764
Elementos finitos	Análisis estáticos	Flexión	Rigidez
Modelado	Fatiga		

1.- MEMORIA:	11
1.1 Introducción	12
1.2 Objetivos	12
1.3 Acerca del bicing	13
1.4 Estructura de la bicicleta urbana	15
1.4.1.2 Geometría del cuadro:	19
1.4.1.2 .1 Longitud del tubo de sillín (A):	20
1.4.1.2 .2 Longitud del tubo horizontal (B):	21
1.4.1.2.3 Ángulo de sillín (C):	21
1.4.1.2 .4 Ángulo de dirección (D):	21
1.4.1.2 .5 Avance de la dirección (E):	22
1.4.1.2 .6 Distancia entre ejes traseros (F):	22
1.4.1.2 .7 Distancia entre ejes delanteros (G):	23
1.4.1.2 .8 Distancia entre ruedas (H):	23
1.4.1.2.9 Altura del pedalier:	23
1.4.1.2 .10 Potencia:	23
1.4.1.2 .11 Relación entre la altura del centro de gravedad de la bicicleta y la distancia entre ejes:	25
1.4.1.3 Fabricación de cuadros de bicicleta. Materiales empleados:	25
1.4.1.3.1 Requisitos mecánicos de los materiales empleados en los cuadros de bicicleta:	26
1.4.1.3.2 Acero:	27
1.4.1.3.3 Aluminio:	28
1.4.2 Sistema de dirección	29
1.4.2 .1 El manillar	30
1.4.2 .2 La potencia	31
1.4.2 .3 El juego de dirección	33
1.4.2 .4 La horquilla	34
1.4.3 Sistema de transmisión:	35
1.4.3 .1 Los pedales	35
1.4.3 .2 Conjunto de pedalier/eje de pedalier:	36
1.4.3 .3 La cadena	36
1.4.3 .4 El sistema de piñones: la rueda libre y el casete	37
1.4.3 .5 La rueda	39
1.4.3.5.1 El buje:	39

1.4.3.5.2 Los radios .....	41
1.4.3.5.3 Las llantas.....	41
1.4.3.5.4 Cámaras y cubiertas: .....	42
1.4.4 Los cambios .....	43
1.4.4.1 El desviador delantero.....	44
1.4.4.2 El cambio trasero:.....	45
1.4.4.3 Palancas de cambio: .....	46
1.4.5 Conjunto del sillín y la tija:.....	46
1.4.5.1 El sillín: .....	46
1.4.5.2 La tija.....	47
1.4.6 El sistema de frenado .....	48
1.4.7 Componentes para ciudad .....	48
1.4.7.1 Iluminación:.....	49
1.4.7.2 Timbres.....	50
1.4.7.3 Guardabarros: .....	51
1.4.7.4 Cubrecadenas: .....	51
1.4.7.5 Portaequipajes: .....	51
1.5 Desarrollo computacional de los diseños.....	52
1.5.1 Introducción al diseño, fabricación y cálculo asistido por ordenador.....	52
1.5.2 Software empleado: NX8.0 y NX Nastran.....	53
1.5.3 Módulo de modelado CAD y ensamblado en NX 8.0:.....	55
1.5.4 Método de los elementos finitos. ....	60
1.5.5 Desarrollo del MEF en NX Nastran.....	63
1.5.5.1 Mallado en NX Nastran: .....	63
1.5.5.2 Condiciones de contorno en Unigraphics/NX Nastran .....	65
1.5.5.2 .1 Restricciones de movimiento: .....	65
1.5.5.2 .2 Cargas:.....	66
1.5.5.2 .3 Objetos de modelado:.....	69
1.5.5.3 Análisis estáticos en NX Nastran: .....	70
1.5.5.4 Análisis de fatiga en Unigraphics/NX Nastran .....	71
1.5.5.5 Desarrollo de análisis de fatiga en NX Nastran: .....	71
1.5.5.6 Resultados obtenidos en los ensayos de durabilidad en NX Nastran: .....	72
1.5.5.6.3 Vida a fatiga: .....	74

1.6 Diseño del nuevo modelo.....	75
1.6.1 Diseño del cuadro y sistema de dirección .....	75
1.6.1.1 Criterios geométricos: .....	76
1.6.1.2 Modelado CAD de los componentes:.....	77
1.6.2 Elección de componentes .....	78
1.6.2.1 Frenos: .....	79
1.6.2.1.1 Frenos V-brake: .....	79
1.6.2.1.2 Frenos de tambor: .....	79
1.6.2.1.3 Frenos contra-pedal: .....	80
1.6.2.1.4 Frenos Roller: .....	80
1.6.2.2 . Cambios:.....	83
1.6.2.2.1 Cambios de marchas externo:.....	83
1.6.2.2.2 Cambios internos: .....	83
1.6.2.2.3 Cambios mixtos: .....	84
1.6.2.2.4 Cambios internos de pedalier: .....	85
1.6.2.3 Ruedas: .....	87
1.6.2.4 Conjunto Sillín-Tija: .....	88
1.6.2.5 Sistema de transmisión:.....	89
1.6.2.5.1 Plato y biela .....	89
1.6.2.5.2 Pedales:.....	90
1.6.2.5.3 Eje del pedalier:.....	90
1.6.2.5.4 Cadena: .....	91
1.6.2.6 Componentes clave para ciudad: .....	91
1.6.2.6.1 Iluminación:.....	91
1.6.2.6.2 Guardabarros: .....	92
1.6.2.6.3 Cubrecadenas.....	92
1.6.2.6.4 Timbre: .....	93
1.6.2.6.5 Portaequipajes .....	93
1.7 Cálculos .....	94
1.7.1 Estudio de tensiones. ....	94
1.7.1.1 Cargas y tensiones en el cuadro .....	94
1.6.1.2 Cargas y tensiones en el sistema de dirección.....	96
1.7.2 Dimensionamientos mínimos: .....	100



1.7.2.1	Potencia:	102
1.7.2.2	Tubo del pedalier:	104
1.7.2.3	Barra puente de la horquilla:	105
1.8	Estudio comparativo de los modelos	107
1.8.1	Diferencias dimensionales:	109
1.8.3	Diferencias geométricas:	110
1.8.2	Estudio mecánico de los modelos	112
1.8.2.1	Fuerzas tractoras:	112
1.8.2.2	Fuerzas gravitatorias:	115
1.9	Conclusiones	118
2	PLIEGO DE CONDICIONES	119
2.1	Normativa aplicada	119
2.2	Materiales:	120
2.2.1	Cuadro-horquilla:	120
2.2.2	Manillar y potencia:	123
2.2.2	Rodamientos:	124
2.3	Fabricación:	125
2.3.1	Manillar y potencia:	125
2.3.2	Cuadro-horquilla:	126
2.3.2.1	Corte de los tubos:	127
2.3.2.2	Curvado de los tubos:	128
2.3.2.3	Soldadura de los tubos:	130
2.3.2.3.1	Soldabilidad del acero:	130
2.3.2.3.2	Soldabilidad del aluminio:	132
2.3.2.3.3	soldadura TIG:	132
2.3.2.4	Pintado:	135
2.3.2.4.1	Pintura electrostática:	135
2.3.2.4.2	Secado y curado:	139
2.4	Impacto medioambiental	140
2.4.1	Norma UNE 150301	141
2.4.2	Proceso de fabricación:	142
2.4.3	Reciclado de materiales:	143
2.4.3.1	Acero	143

2.4.3.2 Aluminio:.....	143
2.4.4 Pautas de fabricación para minimizar el impacto ambiental.....	144
2.5 Ensayos reglamentarios.....	145
2.5.1 Potencia – Ensayo de flexión lateral: .....	145
2.5.1 .1 Resultados: .....	147
2.5.2 Conjunto manillar-potencia- Ensayo de flexión lateral.....	148
2.5.2.1 Resultados: .....	149
2.5.3 Conjunto manillar-potencia- Ensayo de fatiga:.....	151
2.5.3.1 Resultados: .....	153
2.5.4 Cuadro - horquilla – Ensayo de fatiga con las fuerzas de pedaleo:.....	155
2.5.4.1. Resultados: .....	157
2.5.5 Cuadro - horquilla – Ensayo de fatiga con fuerzas verticales:.....	158
2.5.5.1 Resultados: .....	160
2.5.6 Horquilla delantera - Ensayo estático de flexión: .....	161
2.5.6.1 Resultados: .....	162
3. PRESUPUESTO .....	164
3.1 Componentes asignados:.....	164
3.2 Componentes diseñados:.....	165
3.3 Amortización: .....	166
1.10 Bibliografía: .....	167
1.11 Anexos: .....	169
1.11.1 Fatiga de los materiales .....	169
1.11.1.1Introducción a la fatiga:.....	169
1.11.1.2 Estimación de vida a fatiga: .....	170
1.11.2 Documentos i catálogos.....	175
4 .- PLANOS.....	178

## **1.- Memoria**

## 1.1 Introducción

La bicicleta supone un vehículo ecológico, económico, eficiente y con una libertad de movilidad inalcanzable para otros vehículos. Desde el punto de vista energético la bicicleta se sitúa en cabeza con su alto rendimiento. Es más, quizá sea la máquina que mayor aprovechamiento energético realiza. Es el más económico en términos energéticos. Comparando las calorías consumidas por kilómetro y persona, el ciclista consume menos que el peatón, el que usa transporte público y el conductor de un coche o ciclomotor. Para hacerse a la idea, la energía empleada para desplazar un coche 100m equivale a la del ciclista con un recorrido de 5 kilómetros. Casi toda la energía empleada en el pedaleo se invierte en movimiento para la bicicleta solo menguada por las fuerzas de fricción y principalmente por las fuerzas aerodinámicas. Éstas suponen alrededor del 70- 90% del consumo energético de la bicicleta.

Con el paso de los años la bicicleta ha ido ganando adeptos como alternativa a los vehículos autopropulsados i transportes públicos .Los últimos barómetros indican que alrededor de 3 millones de españoles usan este tipo de transporte a diario. Por ello, dentro de este contexto, nació en marzo de 2007 el servicio de alquiler de bicicletas públicas de Barcelona llamado “Bicing” promovido por el ayuntamiento de Barcelona y gestionado por la empresa Clear Channel.

## 1.2 Objetivos

Con el paso del tiempo hay mayor cantidad de usuarios por lo que hay mayores costes en distribución, logística, mantenimiento e informática. Sobre todo las tareas de distribución y mantenimiento aumentan por lo que las bicicletas soportan mayores cargas en menos tiempo.

Se estima que se realizan alrededor de unos 8 viajes / bicicleta y día en trayectos de una distancia media de 2 o 3 kilómetros con un tiempo medio de 15 minutos. A día de hoy Bicing dispone alrededor de un 86% de bicicletas en buen estado en las estaciones y se declaran muchas incidencias en las bicicletas.

Como proyecto pretendo rediseñar la bicicleta del Bicing analizando los distintos elementos que la componen para tratar de optimizar la bicicleta aportando un diseño más eficiente que se traduzca en una bicicleta más resistente, ergonómica y a poder ser más económica. Se valorarán las características del modelo actual y las cargas y solicitudes habituales durante su funcionamiento para tratar de crear un modelo nuevo. Se modificará el diseño de algunos de los elementos estructurales de la bicicleta para obtener un comportamiento mecánico más eficiente. Se elegirán los sistemas de transmisión, frenado, cambio e iluminación acorde a las exigencias del ciclismo urbano.

Verificaremos la calidad de los elementos diseñados solicitando éstos a las especificaciones de la normativa UNE –EN14764 (requisitos de seguridad y métodos de ensayo para bicicletas de paseo). Finalmente se comparará el modelo original con el modelo creado para comprobar la mejoría mecánica del nuevo diseño.

### 1.3 Acerca del bicing

El servicio funciona de la siguiente manera; los usuarios pagan una cuota anual la cual les permite a los usuarios coger una de las 6000 bicicletas creadas aproximadamente a día de hoy en las cerca de 420 estaciones. El usuario posee 30 minutos gratuitos para realizar el desplazamiento. Excedido la primera hora gratuita el usuario debe pagar 51 céntimos de euro + iva por cada media hora adicional hasta un máximo de 2 horas.

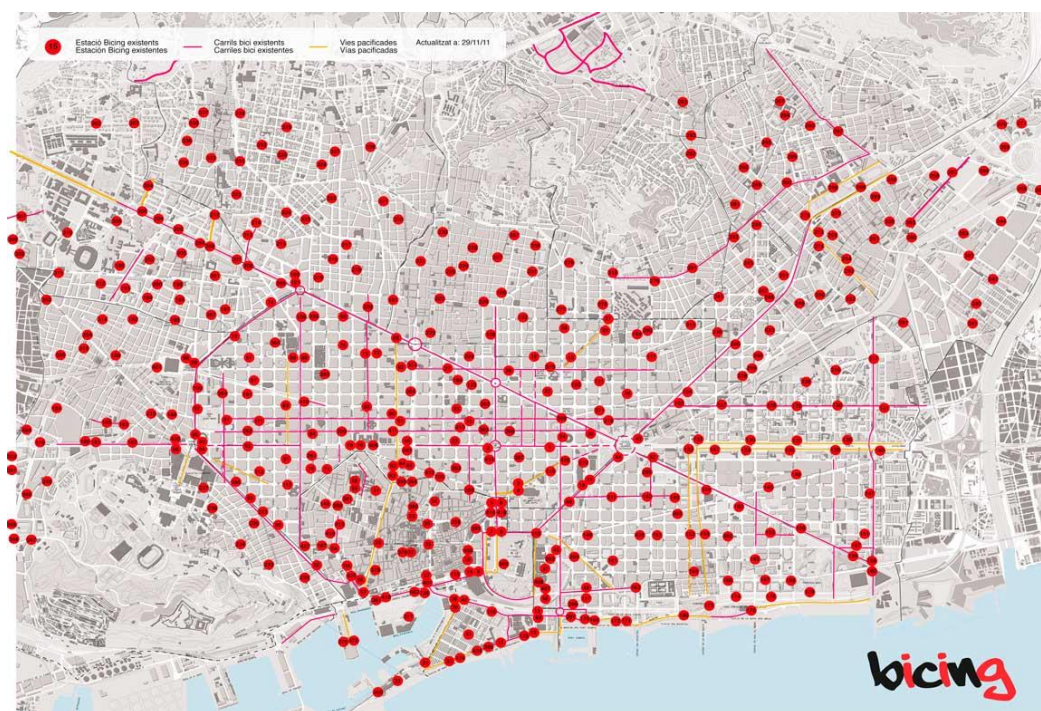


Figura 1. Mapa de estaciones de servicio Bicing en Barcelona

El Bicing presta servicio de 24 horas todos los días de la semana exceptuando que de domingo a jueves entre las 2:00 y las 5:00 sólo es posible la devolución de bicicletas. Entre cada estacionamiento el usuario debe esperar alrededor de 10 minutos antes de poder usar el servicio de nuevo.

La gran mayoría de los usuarios del Bicing provienen de Barcelona, de entre los cuales, el 51% son hombres y el 49% mujeres. La media de edad del usuario es entre los 25-35 años. Según sondeos los usuarios activos del Bicing según profesión son:

PROFESIÓN	ABONADOS
Estudiante	13.21%
Administrativo	10.07%
Ingeniero	6.83%

Administración pública	6.19%
Autónomo	4.42%
Artista	4.20%
Maestro	3.27%
Arquitecto	2.99%
Gerente/Director	2.52%
Médico	2.13%

Según el distrito de Barcelona:

PROFESIÓN	ABONADOS
Área metropolitana	5.22%
Sant-Gervasi	2.98%
Gràcia	19.11%
Ciutat-Vella	16.12%
Eixample	26.48%
Sant Martí	7.54%
Les Corts	6.20%
Sants-Montjuic	8.37%
Horta-Guinardó	2.19%
Resto (Catalunya i España)	2.13%

Las bicicletas están numeradas y tienen un diseño característico para evitar robos, color blanco y rojo. Estas son sus especificaciones:

- Diseño adaptado para el uso urbano tanto para jóvenes como adultos
- Manillar amplio y ergonómico
- Cambio de marchas de 3 velocidades
- Luces delanteras y traseras
- Sistema de iluminación nocturna mediante un sensor fotoeléctrico
- Sistema antirrobo
- Chip de identificación
- Materiales resistentes: acero y aluminio

El servicio del Bicing se compone de las bicicletas y las estaciones, de un servicio de mantenimiento y distribución, software para la gestión del sistema y la oficina de atención al cliente. El servicio de distribución consta de 11 furgonetas y 11 remolques con capacidad para almacenar 11 bicis/furgoneta y 20 bicis/remolque que atiende a la demanda de los usuarios y la oferta de estacionamiento en servicio. En total el servicio de distribución tiene una capacidad de traslado de 431 bicis por hora.



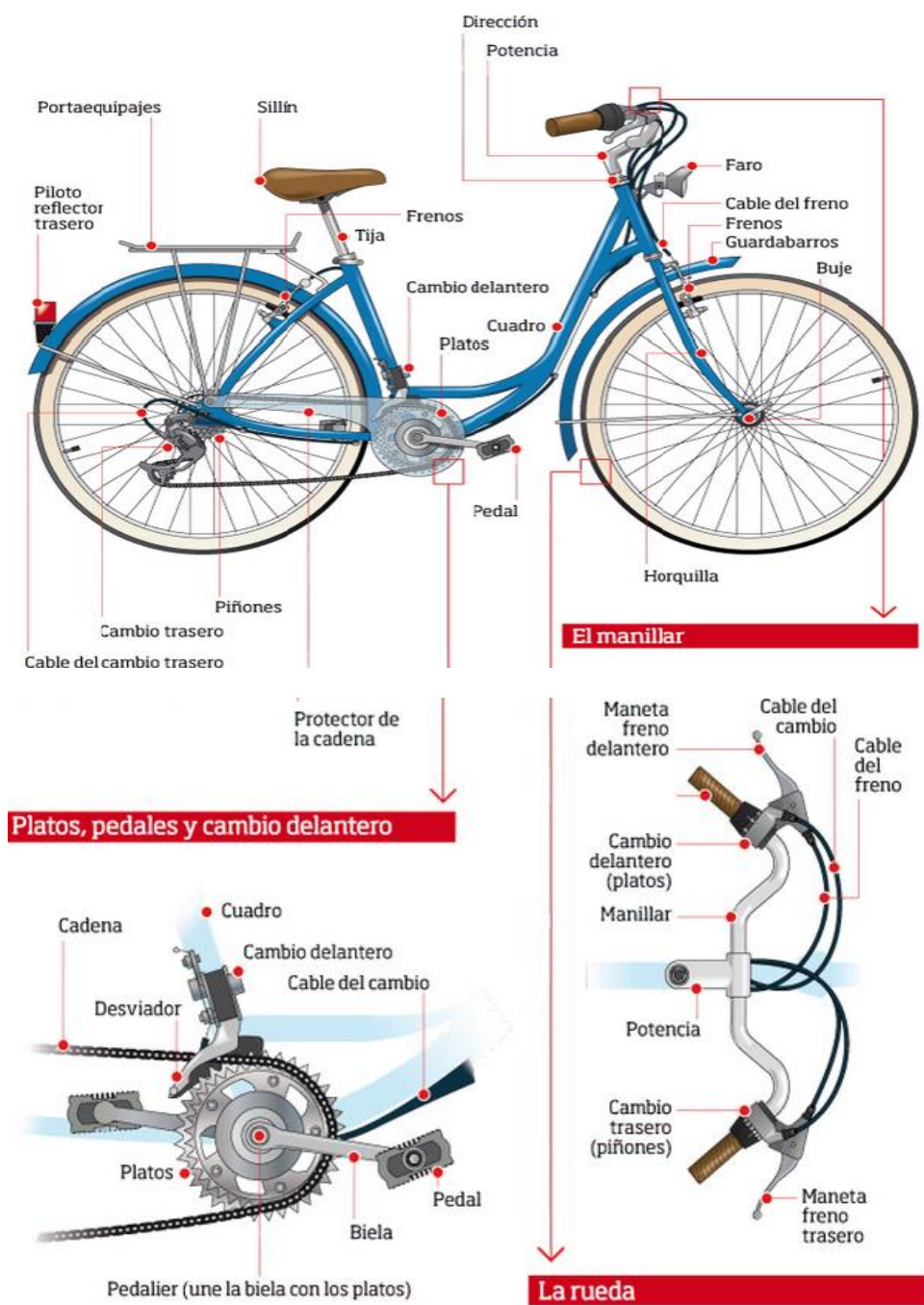
**Figura 2. Bicicleta Bicing**

El servicio de distribución consta de 11 furgonetas y 11 remolques con capacidad para almacenar 11 bicis/furgoneta y 20 bicis/remolque que atiende a la demanda de los usuarios y la oferta de estacionamiento en servicio. En total el servicio de distribución tiene una capacidad de traslado de 431 bicis por hora.

#### **1.4 Estructura de la bicicleta urbana**

La siguiente figura muestra los diversos elementos representativos de una bicicleta tradicional urbana por lo que no todos los elementos serán comunes en los distintos tipos de bicicletas.





**Figura 3. Bicicleta urbana**

Asimismo, desde un punto de vista funcional podemos dividir la bicicleta en siete partes:

- Cuadro: es la parte más importante de la bicicleta ya que en ella se montan los demás componentes y de sus características y cualidades dependen la capacidad de uso y la calidad de la bicicleta
- Sistema de transmisión: es el que permite transmitir a la rueda trasera la fuerza de nuestras piernas y, en combinación con las propias ruedas, obtener el movimiento de la bicicleta. Incluye por lo tanto la transmisión formada por los pedales, el pedalier, que incluye a su vez el eje del pedalier,



bielas, platos, cadena y juego de piñones. Las ruedas también forman parte del sistema de transmisión formado por la cubierta, cámara y la llanta (incluye los radios de la llanta y los bujes o cubos).

- La dirección: es la que permite girar la rueda delantera a izquierda y derecha para cambiar de dirección a voluntad y poder controlar la bicicleta. Incluye el manillar, la potencia, el juego de dirección y la horquilla.
- Cambios: son los mecanismos que permiten engranar los diferentes cambios/velocidades de la bicicleta, combinando los platos y piñones al desviar la cadena a la altura de unos u otros. Incluye los mecanismos de desviador delantera para cambiar de plato y el cambio trasero para cambiar de piñón, además de las manetas o palancas de cambio situados en el manillar lo cual permite al ciclista controlar de forma práctica las velocidades o marchas. Se incluye también los cables del cambio que unen las manetas izquierda y derecha del manillar al desviador delantero y cambio trasero respectivamente.
- Conjunto de sillín i tija: conjunto que permite que el ciclista se siente sobre la bicicleta e incluye obviamente el sillín donde uno se sienta y la tija que une al sillín al cuadro.
- Elementos auxiliares: a diferencia de los otros sistemas mencionados, comunes en la gran mayoría de bicicleta, éstos son identificativos para las bicicletas destinadas a uso urbano y lo son los faros para la iluminación y fácil visualización en ciudad, portaequipajes y los protectores de cadena.

#### 1.4.1 Conjunto cuadro-horquilla

Es la columna vertebral de la bicicleta recayendo sobre ella la mayor magnitud de esfuerzos y la obligación de soportarlos y ofrecer unas buenas prestaciones mecánicas. Por ello es el elemento estructural más importante de la bicicleta. Algunos cuadros son parecidos y otros son totalmente distintos y aunque algunos puedan parecerse, hay 5 aspectos que definen el cuadro de una bicicleta y en consecuencia el tipo de bicicleta y la modalidad de uso a la que está destinada.

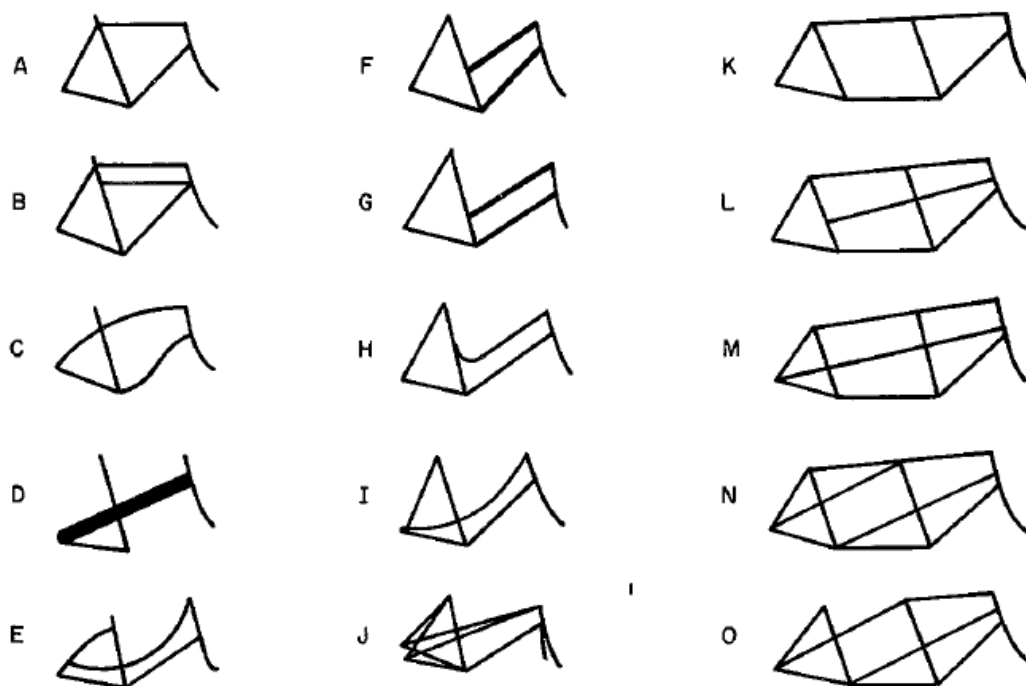
PARÁMETRO	FUNCIÓN
La elección de los tubos	Estabilidad, peso y propiedades de marcha
Elaboración	Seguridad, estética y calidad final
Geometría	Características técnicas y uso al que va a ser destinado
Diseño	Cualidades funcionales
El tamaño	Adecuación al cuerpo humano.

**Tabla 1. Aspectos a considerar en el cuadro y cualidades que determinan**

La ilustración siguiente muestra los tipos básicos de diseños de cuadros de bicicleta. Para cada diseño se pueden utilizar diversos materiales o procesos de construcción así como diversas medidas, lo cual se consiguen cuadros con apariencia similar pero con comportamientos considerablemente distintos.

El tipo A es conocido típicamente como el cuadro de diamante y es el más utilizado y técnicamente probado. Es el primer tipo de cuadro creado desde que en 1890 los ingleses demostraran que la forma trapezoidal o cuadro de doble triángulo era técnicamente el mejor para la construcción de bicicletas y la mejor solución para las fuerzas y vibraciones que actúan sobre una bicicleta. A no ser que haya razones especiales este tipo de cuadros puede ser considerado como apropiado en la mayoría de los casos, desde bicicletas de carretera hasta bicicletas de carga aunque eso sí, debe ser dimensionado de acuerdo a la actividad en particular.

El tipo B lleva un doble tubo horizontal lo cual aumenta la resistencia del cuadro a ciertos tipos de esfuerzos. Queda en duda si el incremento de la resistencia es apreciable dado que el tubo horizontal no es el que mayores esfuerzos tiene durante el funcionamiento de la bicicleta. La ventaja que aportaría el uso de un segundo tubo horizontal podría ser en el caso hipotético de choque o impacto en el que es fuertemente solicitado éste y aumentamos esa resistencia axial justificando así un segundo tubo horizontal.



**Figura 4. Tipos de diseños de cuadros**

El modelo C es un marco más flexible que el modelo A o “cuadro de diamante” por lo tanto tiene mayor capacidad para absorber pequeños impactos lo que puede resultar un paseo más agradable y confortable en un terreno accidentado. Sin embargo su alta flexibilidad hace que no se utilice de forma eficiente la potencia suministrada por el ciclista. El modelo actual del “Bicing” opta por este tipo de diseño.

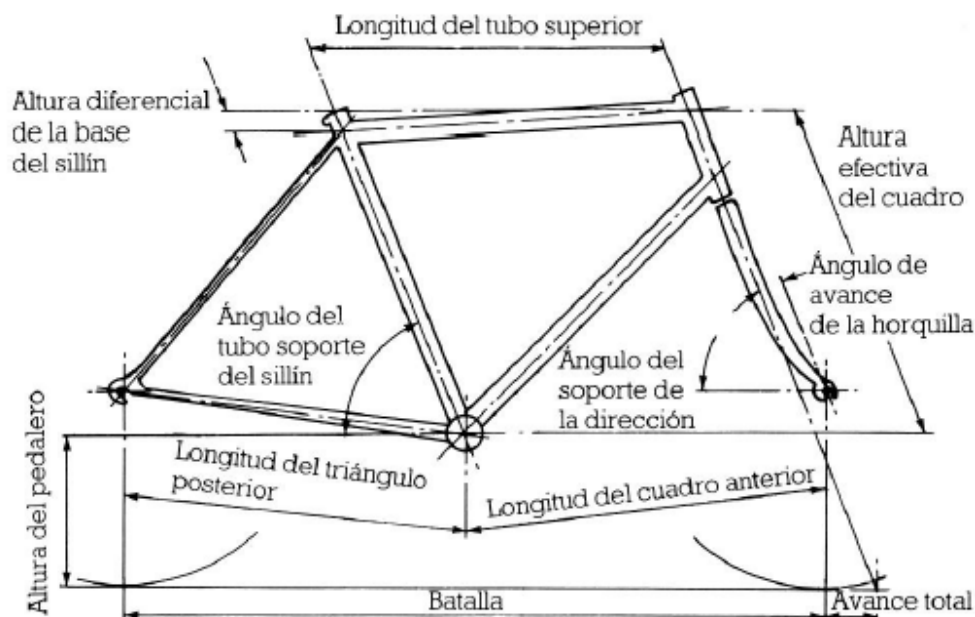
En los cuadros del tipo D la gran mayoría de esfuerzos se concentran en el tubo central por lo que éste tiene que ser de un diámetro considerablemente mayor que el resto. Por su sencillez este modelo se emplea en bicicletas plegables.

Los modelos del E al J estaría más adecuados para el ciclismo urbano dado que los cuadros están diseñados pensando en la facilidad para montar la bicicleta e usarla ya que en el caso de usar ropa informal al circular en bicicleta (ciclismo urbano) resulta más cómodo. Todo ello en detrimento de la rigidez final. De todos ellos el tipo J es el que ofrece mayor rigidez.

Los restantes diseños, del K al O se emplean para “tándems” siendo el tipo N el más rígido y el tipo K más flexible y liviano.

#### 1.4.1.2 Geometría del cuadro:

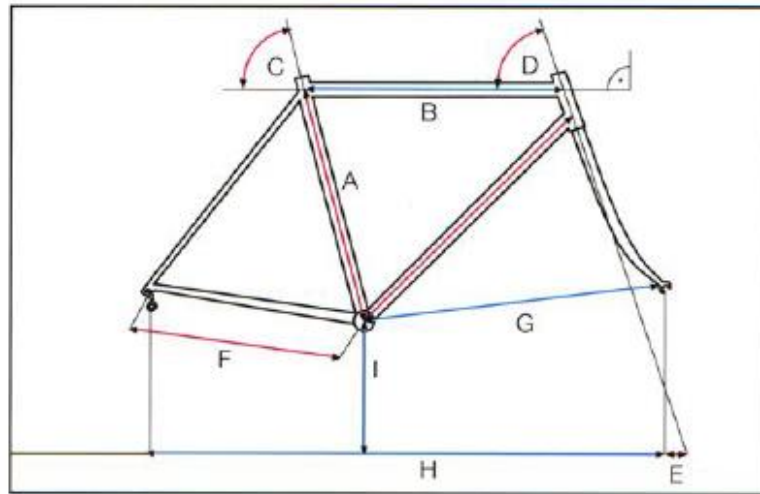
El cuadro es como el chasis en un vehículo, es el soporte de todas las demás piezas. El conjunto de sus funciones determina su capacidad de uso y la calidad final de la bicicleta. Está formado por un conjunto de cuadro tubos principales, el tubo del sillín, tubo horizontal, tubo diagonal oblicuo, tubo de dirección junto con la caja del pedalier y los tubos del tren trasero dichos vainas y tirantes. En ocasiones la horquilla va embutida en el tubo de dirección. En la siguiente ilustración se aprecian las distintas partes del cuadro.



**Figura 5. Ángulos y medidas a tener en cuenta**

La geometría del cuadro de bicicleta determina las características técnicas de ésta y el uso para el que va a ser destinado. Se determina según las medidas y las distancias y ángulos que forman entre sí los tubos. En la siguiente figura se muestran la geometría típica de un cuadro tradicional de bicicleta. Debemos considerar que en el caso de las bicicletas urbanas la distribución de tubos no suele ser la misma. Para la definición de

las siguientes medidas se ha incluido la horquilla como parte integrante del cuadro a pesar de formar parte del sistema de dirección.



A	Longitud del tubo de sillín
B	Longitud del tubo horizontal
C	Ángulo del sillín
D	Ángulo de la dirección
E	Avance total o efectivo
F	Distancia entre ejes trasero
G	Distancia entre ejes delanteros
H	Distancia entre ruedas
I	Altura del pedalier

#### 1.4.1.2 .1 Longitud del tubo de sillín (A):

Se mide desde el centro del pedalier hasta el punto de corte del propio tubo del sillín con la prolongación en un plano paralelo al suelo, del centro del tubo horizontal a partir de su unión con el tubo de dirección. Define la talla de la bicicleta en relación con la longitud de la entrepierna y suele estar expresado en pulgadas, talla 15, 20, 22). recordamos que una pulgada son 2,54 cm. En el caso de bicicletas deportivas, de montaña o destinadas a un uso urbano la medición difiere de lo habitual ya que el tubo horizontal presenta curvatura y puede no estar unido al tubo de dirección.

#### *1.4.1.2 .2 Longitud del tubo horizontal (B):*

Se mide entre los puntos de corte del tubo horizontal con los ejes longitudinales del tubo del sillín y de dirección respectivamente. La inclinación hacia atrás o “sloping” en las bicicletas de montaña por ejemplo o las urbanas en las que se para a menudo con la bicicleta permite una mayor facilidad para poner los pies en el suelo compensando la diferencia de altura del tubo del sillín con una mayor distancia de la tija con por encima del tubo horizontal.

#### *1.4.1.2.3 Ángulo de sillín (C):*

Sobre el suelo completamente plano, representa el ángulo que forma el plano del sillín con la prolongación del eje longitudinal del tubo del sillín.

El ángulo de soporte del sillín determinará la posición de tus piernas sobre el pedal para tratar de sacar la potencia máxima posible en ellas. Éste ángulo suele estar comprendido entre 68 y 74 grados y resulta determinante en el comportamiento de la bicicleta. Cuanto mayor sea este ángulo ( $\approx 74^\circ$ ), es decir, más vertical sea el tubo del sillín, mayor será la potencia empleada por las piernas y resultará beneficioso para los ascensos desplazando el peso del ciclista hacia delante. La estabilidad en descensos aumenta. En cambio, un ángulo más plano ( $69^\circ$ - $71^\circ$ ) proporciona una conducción más cómoda echada hacia atrás. Un usuario pequeño se beneficiará más de un ángulo vertical mientras que un usuario alto estará más cómodo con un ángulo más plano.

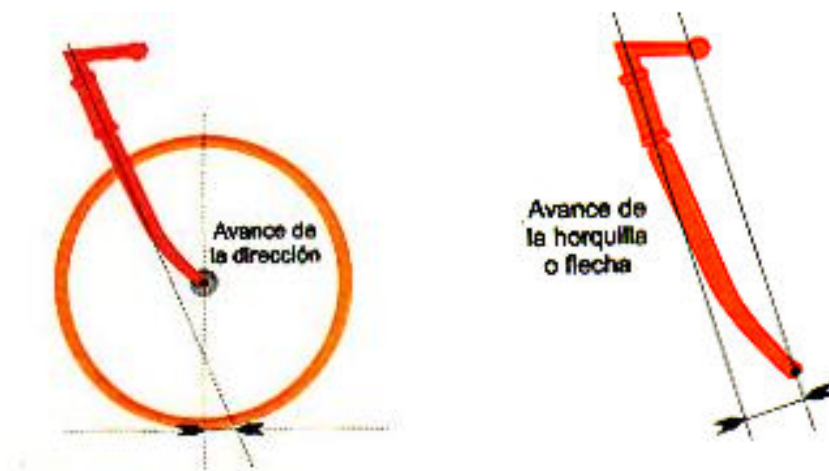
Frecuentemente el ángulo de soporte del sillín coincide con el ángulo de ataque de la bicicleta para corresponder con el tipo de pedaleada.

#### *1.4.1.2 .4 Ángulo de dirección (D):*

El ángulo de dirección o ángulo de ataque también llamado representa, sobre un suelo completamente plano, el ángulo que forma la prolongación del eje longitudinal del eje de dirección con el eje del tubo horizontal. En caso de que el eje del tubo horizontal no sea paralelo al suelo se tomará como referencia el plano del suelo. El ángulo debe tomarse hacia la parte trasera y superior de la bicicleta. Oscila entre  $67^\circ$ - $73^\circ$  y junto con el avance de la horquilla determina influye directamente en el avance efectivo de la rueda, del cual dependen las características de guiado. Cuanto mayor sea este ángulo, cercano a los  $73^\circ$ , suponiendo una horquilla de curvatura media obtenemos un comportamiento mucho más ágil y directo de la dirección con lo que la maniobrabilidad en curvas aumenta en detrimento de la estabilidad de la bicicleta a altas velocidades. Con un ángulo más plano, cercano a los  $68^\circ$ , obtenemos el efecto contrario, la bicicleta adquiere un comportamiento más “amortiguado” que aporta una mayor estabilidad y rigidez a altas velocidades y cuando está expuesto baches en detrimento de la sensibilidad y maniobrabilidad de la dirección por lo que adquirirá mayor resistencia al viraje.

#### 1.4.1.2 .5 Avance de la dirección (E):

Se mide en el suelo entre la prolongación inferior del eje longitudinal del tubo de dirección y la prolongación vertical del eje delantero sobre el suelo. Depende como se ha dicho anteriormente del ángulo de dirección y de la curvatura de la horquilla. Un avance largo lo cual implicaría un ángulo de dirección plano y una curvatura media-baja de la horquilla generará una conducción menos directa pero estable y rígida a altas velocidades con una menor sensibilidad y respuesta en la dirección, mientras que un avance corto aporta el efecto contrario, mayor maniobrabilidad en curvas y menor rigidez a velocidades altas. A menudo suele confundirse en avance de la dirección con el avance de la horquilla. En las siguientes figuras se muestra la diferencia:



El avance de la horquilla o flecha o también llamado “trail” define la curvatura de la horquilla y es la distancia que hay entre el eje de dirección y el eje de giro de la rueda delantera. Una medida habitual son 4 cm. Cuanto mayor sea esta distancia más capacidad para absorber los baches tendrá la bicicleta. De ello también depende la distribución de los radios de las ruedas.

#### 1.4.1.2 .6 Distancia entre ejes traseros (F):

Se mide desde el punto central del eje del buje de la rueda trasera hasta el punto central del eje del pedalier. Cuanto menor sea ésta distancia, mejor para la bicicleta. Si bien es cierto que una distancia más grande aporta una conducción más ergonómica en la actualidad tiende a acortarse la distancia lo máximo posible ya que aporta una velocidad de reacción mayor traducido en una mayor tracción y una mayor potencia en la pedalada debido a que estamos sentados cerca de la vertical del eje trasero y al ser más cortas las vainas se flexionarán menos con lo que serán menores las pérdidas de motricidad. Una distancia corta entre ejes también aporta una mayor capacidad para la escalada. Esta distancia se reduce lo máximo posible siempre y cuando no se comprometa la geometría del conjunto del cuadro que afecte a sus características y prestaciones.

#### *1.4.1.2 .7 Distancia entre ejes delanteros (G):*

Se mide desde el punto central del eje del buje de la rueda delantera hasta el punto central del eje del pedalier. Determina la libertad de paso, que es la cualidad que permite que los pedales y la rueda delantera no se toquen en ningún momento, favoreciendo la manejabilidad de la bicicleta cuando existe un ángulo de giro muy reducido.

#### *1.4.1.2 .8 Distancia entre ruedas (H):*

Se mide desde el punto central del eje del buje de la rueda delantera hasta el punto central del eje del buje trasero. Una mayor distancia aporta una conducción más relajada pero con menor manejabilidad mientras que una distancia corta aumenta la manejabilidad lo cual conlleva un comportamiento más “nervioso” de la bicicleta.

#### *1.4.1.2.9 Altura del pedalier:*

La altura del pedalier o altura inferior del cuadro se mide, sobre el suelo completamente plano, la distancia desde el centro del eje del pedalier hasta el suelo. . Cuanto menor es la altura menor es el centro de gravedad del conjunto por lo que las inercias en curva son menores i adquiere agilidad la bicicleta. Cuanto mayor sea éste la bicicleta pierde agilidad en curvas pero mayor es la estabilidad en líneas rectas con una rodadura más tranquila. En terrenos accidentados la importancia de esta distancia aumenta ya que podría chocar el pedal con algún bache por lo que en el caso de bicicletas de montaña en las que deben sortear obstáculos con frecuencia adquiere importancia esta medida. Esta altura determina también la altura del conductor en la bicicleta. Ejemplos de alturas inferiores en otros tipos de bicicleta: Mountain bike (35,50 cm), Downhill: (36,8 – 40,6 cm)

#### *1.4.1.2 .10 Potencia:*

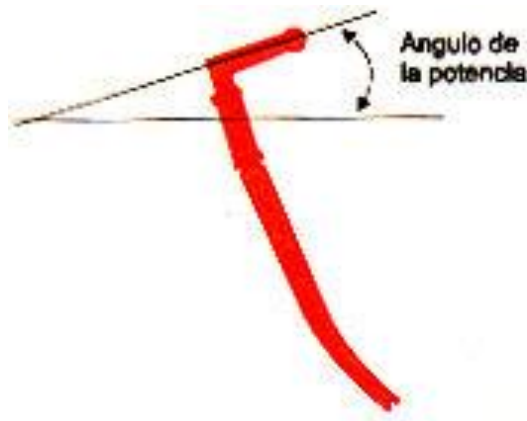
La potencia no forma parte del sistema y no está mostrado en las figuras anteriores pero su geometría afecta también a sus características y su uso lo mismo que la geometría del cuadro.

Es un elemento muy importante para la comodidad del conductor además de las particularidades mecánicas que pueda aportar. En algunos casos una posición no ergonómica en una bicicleta adecuada a tu tamaño puede arreglarse con una potencia más o menos larga o mayor o menor inclinada. La distancia de la potencia se mide entre el punto central del perno de sujeción de la horquilla y el punto central del manillar.



Las potencias cortas están comprendidas entre 10-12 cm y generan una conducción más precisa y ágil en la dirección mientras que una potencia larga que tiene entre 13-15cm aporta una conducción más tranquila y ergonómica pero menos ágil.

Éste componente también posee un cierto ángulo respecto al eje de movimiento modificando así la altura final del manillar respecto al suelo. Se mide el ángulo que forman por la parte delantera e inferior de la bicicleta, los dos elementos de la potencia, en el caso de las direcciones con rosca o el de la potencia con el eje longitudinal del tubo de dirección, en el caso de las direcciones sin rosca, una vez montadas sobre éste.

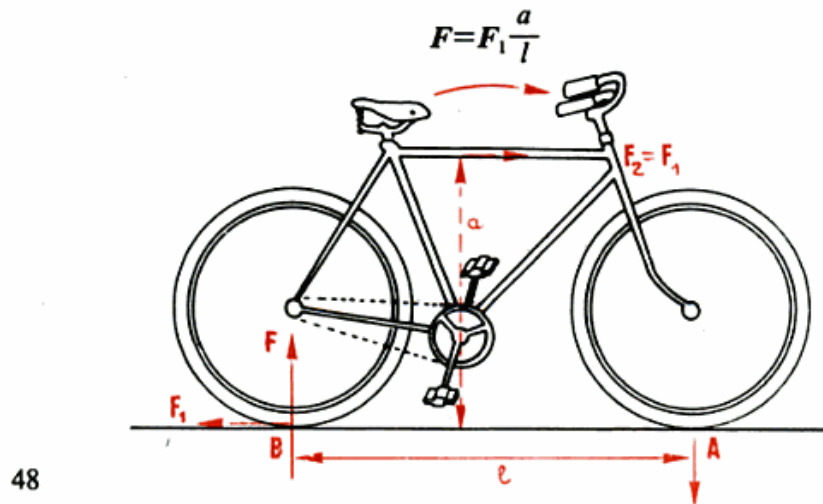


Se la inclinación de la potencia respecto la horizontal es negativa el centro de gravedad del tren delantero baja con lo que se consigue una bicicleta más ágil y escaladora. Cuanto mayor sea este ángulo ( $>5^\circ$ ) más erguido será la posición del ciclista y, por lo tanto, más cómoda además de un mayor control es descensos comprometidos.



#### 1.4.1.2 .11 Relación entre la altura del centro de gravedad de la bicicleta y la distancia entre ejes:

Durante la frenada se crea una fuerza que actúa en la zona de contacto entre la calzada y el neumático en la misma dirección y en sentido contrario al vector velocidad ( $F_1$ ). Éstas fuerzas de frenado son contrarrestadas en gran parte por las fuerzas de inercia de la bicicleta ( $F_2$ ) lo cual las podemos representar como una fuerza igual y opuesta a la fuerza de frenado situada en el centro de masas formado por el conjunto bicicleta-ciclista. En la siguiente figura se muestran la descomposición de estas fuerzas.



48

$a$  = Distancia vertical entre el suelo y el centro de gravedad

$l$  = distancia entre ejes

Partiendo de que la velocidad es hacia la derecha de la figura durante la frenada se genere la fuerza  $F_1$  formando un momento ( $M_{F1} = F_1 * a$ ) que tiene un momento equivalente a  $F * l$  por lo que se debe cumplir analizando el problema en un rango estático que :

$$F_1 * a = F * l$$

Las relaciones  $a/l$  suelen estar establecidas para el diseño de cuadros de bicicleta ya que debemos evitar la facilidad de la rueda a elevarse durante la frenada. Podemos concluir que cuanto mayor sea la distancia entre ejes, mayor será la dificultad para elevarse la rueda trasera durante la frenada.

#### 1.4.1.3 Fabricación de cuadros de bicicleta. Materiales empleados:

En los cuadros de bicicleta es muy importante que éste sea capaz de soportar los esfuerzos que se presenten al manejar la bicicleta. Esto significa que los tubos deben estar correctamente dimensionados. Podemos utilizar materiales muy resistentes lo cual redundaría en tubos con espesores de pared pequeños y por consiguiente un cuadro ligero o materiales menos resistentes con lo cual los diámetros y espesores serán mayores obteniendo una bicicleta más robusta y pesada. Los cuadros ligeros fabricados con aleaciones

suelen ser muy caros empleados en bicicletas de carretera donde el peso es un parámetro muy importante. Sus pequeños espesores no serían recomendables para tratos bruscos de la bicicleta.

#### *1.4.1.3.1 Requisitos mecánicos de los materiales empleados en los cuadros de bicicleta:*

Hay una serie de propiedades de los materiales que determinarán la elección de uno u otro para la fabricación de nuestro cuadro de bicicleta. Las propiedades más importantes se definen a continuación:

- *Densidad:* cuando hablamos de densidad hablamos del peso del material para un determinado volumen. El objetivo primordial en la fabricación de cuadros es la mayor ligereza final sin comprometer la rigidez del conjunto.
- *Rigidez:* la medición de la rigidez viene determinado básicamente por su módulo de Young o módulo de elasticidad. Cuanto mayor sea la rigidez estructural del cuadro mayor será el rendimiento i efectividad en la transmisión de fuerzas desde que se inicia en el pedaleo hasta las ruedas ya que se malgastara menos potencia efectiva en flexiones y torsiones del cuadro.
- *Alargamiento o elongación:* el alargamiento mide con que magnitud se deformará el material antes de la rotura. Es una medida de la ductilidad del material. Para el caso de las bicicletas se necesitan materiales con capacidad para la deformación, que se doble antes de la rotura. Sería inadecuado en un cuadro de bicicleta en el que sufriera un impacto y se ocasionara una fractura frágil como la de un vidrio.
- *Resistencia a la tracción:* es una medida importante también y determinará la resistencia límite que podrá soportar el cuadro. Por lo general, las bicicletas no suelen fallar por que sufran cargas muy elevadas pero la resistencia a tracción resulta un indicador del comportamiento del material. Las pruebas de tracción aplicadas a los materiales sirven para definir propiedades como la ductilidad, fuerza, rigidez y los parámetros adecuados para el tratamiento térmico.
- *Resistencia a la fatiga:* la fatiga de los materiales se produce para la repetición cíclica de cargas de un valor inferior a la resistencia mecánica del material. Esto puede ser un símil de prueba dado a las cargas alternas que imitan las vibraciones e impactos de la bicicleta circulando por las irregularidades del terreno.
- *Tenacidad:* es la habilidad de un metal para absorber la energía y deformar plásticamente antes de la fractura. Un duro metal es más dúctil y se deforma en lugar de la fractura de manera frágil. Puesto que un requisito muy importante de los tubos de la bicicleta es su capacidad de deformar y dar aviso de la inminente rotura, la dureza es una propiedad importante de medir
- *Soldabilidad:* dado que los tubos del cuadro de bicicleta están unidos entre si necesitamos para ello material cuanto más fáciles de soldar mejor tratando de conseguir uniones sólidas y duraderas. No todos los metales son adecuados para la soldadura y no todos los metales de relleno combinan bien con materiales de base aceptables.

A lo largo de estos últimos años ha habido dos materiales comúnmente empleados para la fabricación de cuadros de bicicleta que son el acero y el aluminio. Cada uno posee sus ventajas y desventajas i dependiendo de la finalidad y las prestaciones que necesitemos en la bicicleta elegiremos un material u otro.

Con el paso del tiempo se ha ido empleando otro tipo de materiales como el titanio y la fibra de carbono. Éstos últimos se emplean para conjuntos de bicicleta con requerimientos muy altos de prestaciones mecánicas como en las bicicletas de competición. Dado su alto coste y dificultad de manipulación los excluimos de las alternativas a elegir en cuanto al material empleado para los cuadros de bicicleta.

#### 1.4.1.3.2 Acero:

Uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente usado. A un precio relativamente bajo, el acero combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico, o mediante aleaciones. El Acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%). Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados. Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con la reducción de hierro (producción de arrabio) el cual se convierte más tarde en acero.

Los aceros se clasifican de acuerdo a los elementos de aleación:

- *Aceros al carbono:* Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran máquinas, carrocerías de automóvil, la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, cascos de buques, somieres y horquillas. Se clasifican en:
  - Aceros de bajo carbono: se incluyen los aceros con composiciones de  $< 0.25\%C$ , composición de manganeso de 0,25-1,5% y de fósforo y azufre de  $< 0,4\%$  y  $< 0,5\%$  respectivamente.
  - Aceros de carbono medio: similares a los aceros al carbono bajo pero con composiciones de Carbono de 0,25-0,5% y manganeso de 0,60-1,65%
  - Aceros con alto carbono: similares también a los otros aceros al carbono pero con composiciones de Carbono desde 0,30-1,00%
- *Aceros aleados:* Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros de aleación se pueden sub-clasificar en 3 tipos:
  - Aceros estructurales, aceros para herramientas y aceros especiales
  - Aceros de baja aleación ultrarresistentes
  - Aceros inoxidables

- Propiedades del acero:

El acero es un material maravillosamente fiable y leal para la construcción de bicicletas. Es seguro decir que no hay material de más éxito utilizado jamás. Es fácil de trabajar, puede ser fácilmente unido con soldadura, requiere herramientas sencillas para la fabricación, no rompe de manera imprevista y es económico. La densidad es una característica bastante significativa dado que es un material muy denso en comparación con

el aluminio, alrededor de 3 veces la densidad de éste. A favor tenemos la adaptabilidad y la fácil manipulación desde el punto de vista metalúrgico para trabajarlo ya sí obtener diseños ligeros con geometrías de poco espesor.

En rigidez posee alrededor de entre  $17 \text{ a } 2010^{10}$  N/m<sup>2</sup> dependiendo del tipo de acero, el doble aproximadamente que el aluminio. En el caso de tubos de acero debemos tener en cuenta la relación diámetro del tubo / espesor dado que si tenemos una relación superior a 70 /1 aproximadamente, ocurre en los tubos la incapacidad a pandeo o vulgarmente conocido como “barril de cerveza”. En materiales como el aluminio, menos denso, no ocurre este fenómeno por lo que podemos colocar tubos de mayor diámetro y en definitiva obtener un conjunto más rígido. En cuanto al alargamiento o elongación posee unos números aceptables de alrededor de 9 a 15%. El alargamiento de un material hasta la ruptura indica el grado de ductilidad de éste.

#### *1.4.1.3.3 Aluminio:*

El aluminio como material para cuadros de bicicleta se ha ido incrementando a lo largos de las últimas décadas. Es el metal más abundante del planeta y proviene de la bauxita, un mineral muy abundante compuesto por hidratos de alúmina, óxidos i impurezas. A pesar de proceder de un mineral muy abundante como la bauxita, en los primeros años desde su inicio como material estructural, se producción era bastante costosa con un alto gasto energético. Se requerían alrededor de 30kwh para producir 1kilo de aluminio. Con el paso de los años se han ido optimizando los procesos de producción metalúrgicos hasta el punto de producirse a un precio relativamente bajo con un gasto energético de 15kwh por cada kg de aluminio. A todo esto hay que sumarle además el gasto energético producto de procesar el material, ya sea estampado, extrusión, etc... por lo que en relación al acero posee unos costes de producción energéticos mayores que el acero.

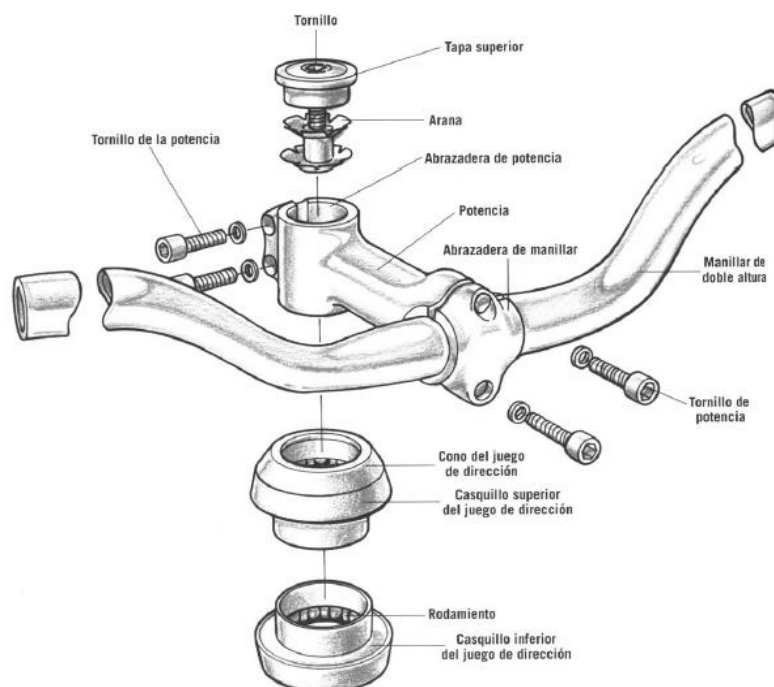
#### *- Propiedades del aluminio:*

Una de las principales ventajas del aluminio como material estructural para sistemas que requieren el mínimo peso posible es su baja densidad. Posee una densidad de (2,7kg/dm<sup>3</sup>) del orden de 3 veces menor que el acero y dos veces menor que el titanio. Por desgracia su módulo de Young o módulo de elasticidad se reduce también a una tercera parte, aproximadamente unos 70.000 N/mm<sup>2</sup> frente a los 210.000 N/mm<sup>2</sup> del acero. Aun empleando un material mucho menos resistente que el acero podemos construir bicicletas más rígidas con aluminio. Por definición el acero es más rígido que el aluminio pero gracias a su baja densidad podemos construir tubos de mayor diámetro sin un considerable aumento de peso. Al construir una bicicleta con tubos de gran diámetro aumentamos su rigidez de forma espectacular y puesto que su densidad es baja, los espesores son aceptables para no comprometer la relación entre rigidez y resistencia.

Los aluminios débilmente aleados poseen capacidades resistentes muy bajas con límites elásticos de 30 N/mm<sup>2</sup>, aunque éstos son muy deformables, con deformaciones unitarias de hasta 35%, empleados para la fabricación de piezas de escasa exigencia mecánica. Existen por otra parte aluminios aleados en una amplia gama con características equiparables a las de los aceros al carbono. Para la fabricación de cuadros son muy empleados los de la serie 6000 según terminología internacional con aleaciones de silicio y magnesio que junto con los tratamientos térmicos específicos permiten alcanzar límites elásticos de 250N/mm<sup>2</sup> y esfuerzos límite de rotura de 290 N/mm<sup>2</sup> con deformaciones unitarias del 8% al 10%. Éstas son aleaciones resistentes a la corrosión. Para la construcción de cuadros también se emplean aluminios aleados con zinc, que corresponden a los de la serie 7000, los cuales tratados térmicamente pueden llegar a límites elásticos de 360 N/mm<sup>2</sup> i tensiones de rotura superiores a los 400 N/mm<sup>2</sup>.

#### 1.4.2 Sistema de dirección

El sistema de dirección nos permite girar la rueda con precisión para poder cambiar de dirección a voluntad y conducir la bicicleta. Incluimos como componente el manillar, la potencia, el juego de dirección y la horquilla, que se sujeta firmemente al buje de la rueda delantera mediante el “cierre rápido” o bien mediante un eje pasante (mayor resistencia). Deben considerarse este grupo funcional como se ha mencionado ya que la horquilla no suele incluirse junto con la dirección. Además de dirigir el sistema de dirección también interviene en su amortiguación y estabilidad (un 10% de los golpes pasa por el juego de dirección, potencia y manillar. En la siguiente ilustración se muestran los componentes de la dirección (sin tener en cuenta la horquilla), con un manillar de doble altura, potencia para direcciones sin rosca con abrazadera para el manillar y juego de dirección sin rosca o “AHEAD”.



**Figura 6. Componentes de un manillar**

### 1.4.2 .1 El manillar

A diferencia de lo que se pueda opinar, el manillar soporta gran parte del peso del cuerpo y de su colocación respecto al sillín dependerá la comodidad del usuario. De ello también depende la eficacia de pedaleo ya que una instalación errónea desviaría al ciclista de la posición ideal. Los manillares están fabricados de materiales empleados en los cuadros como aceros aleados, aluminio y los más recientemente empleados como el titanio, fibra de carbono o magnesio. Suelen presentar distintos diámetros (22-25cm), en ocasiones conificados ofreciendo una mayor resistencia en la unión con la potencia.

Respecto a la forma existen dos tipos básicos: los manillares completamente planos (completamente rectos o ligeramente curvados) y los manillares de doble altura. Los primeros permiten una conducción más deportiva que se traduce en reacciones más rápidas de los movimientos de la rueda sobre el pavimento y de nuestras manos sobre el sistema de dirección mientras que los de doble altura aportan una conducción más ergonómica. La anchura del manillar oscila por lo general entre 50-60cm aunque algunos empleados en descenso son de 70cm. La anchura dependerá de las características físicas del ciclista lo cual es adecuado un manillar con una anchura parecida a la de sus hombros. Los manillares cortos aumentan la maniobrabilidad de la bicicleta aunque los manillares largos ofrecen mayor comodidad. Debe tenerse en cuenta el espacio necesario para los puños. En la siguiente figura se muestran los tipos de manillares empleados para bicicletas.

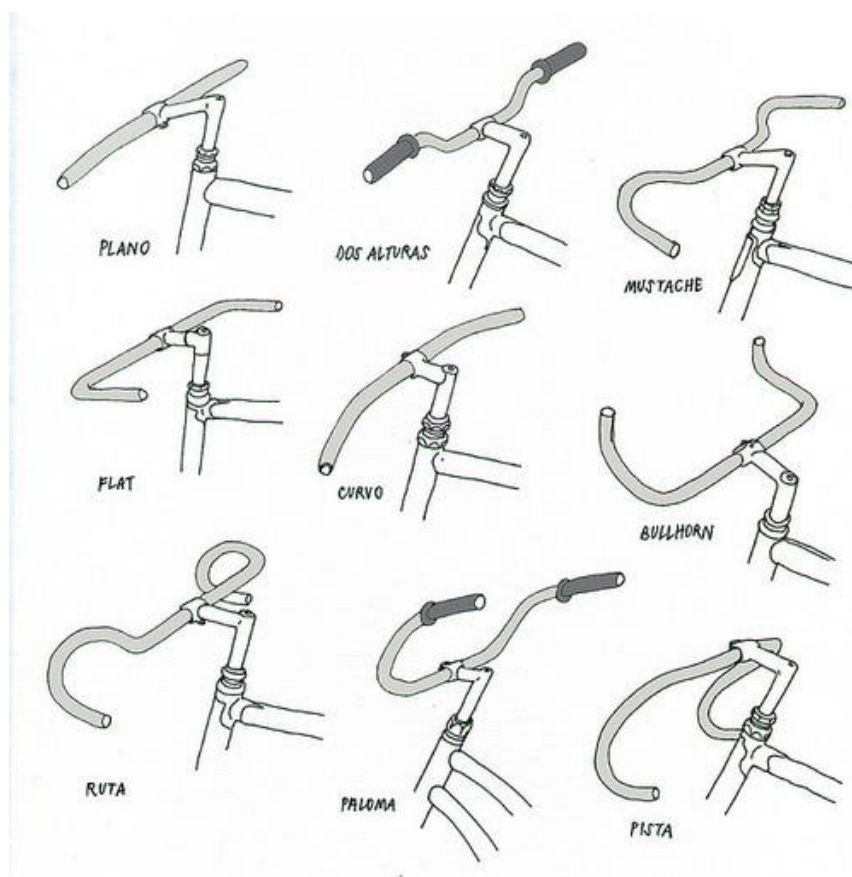


Figura 7. Tipos de manillares

Los puños son forros de espuma o algún compuesto plástico o de caucho que, colocado en los extremos del manillar, permiten sujetarlo firmemente sin que resbalen las manos a causa del sudor u otros. Suelen tener una longitud variable pero suficiente para la anchura de la mayoría de usuarios, son flexibles y con cierta amortiguación derivada de su composición y grosor. Los puños de espuma son los más cómodos pero sólo recomendables para un uso de paseo ya que no poseen la suficiente capacidad para absorber el agua por lo que en condiciones extremas quedaría empapado de sudor. Los mejores puños para un uso en terrenos abruptos son los de goma dura con relieve aunque éstos son abrasivos para las manos lo que hace indispensable el uso de guantes con un buen acolchado.



En la ilustración anterior se muestran distintos tipos de puños para manillares. El de la derecha es el de espuma, idóneo para conducir tranquilo y los demás de compuestos más duros. El de la izquierda es el de goma dura con relieve perfecto para el uso todoterreno.

#### *1.4.2 .2 La potencia*

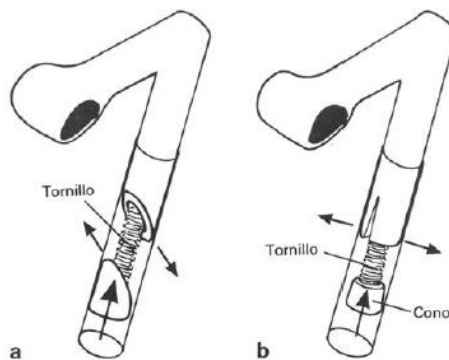
La potencia es el elemento que une el manillar al cuadro y/o horquilla. Existen dos tipos básicos de horquilla. Los de unión sin rosca sino mediante abrazaderas denominadas “ahead” y las potencias con rosca denominadas potencias de cuña. La utilización de uno u otro dependerá del tipo de horquilla y del propio juego de dirección instalado. En la izquierda de la siguiente figura se muestran las potencias con rosca y a la derecha las potencias sin rosca.



**Figura 8. Potencias con/sin rosca**

Las potencias sin rosca se unen mediante una abrazadera al tubo de la horquilla, que atraviesa completamente el tubo de dirección del cuadro y se aprieta mediante un tornillo allen situado en la tapa del extremo superior de la horquilla, atornillándolo contra la rosca interior de una pieza denominada “araña” y que se sitúa a su vez apenas a un centímetro del borde de la horquilla. Las potencias en cuña presentan forma de L y se introduce en parte, en el interior del tubo de la horquilla. El extremo inferior de estas potencias presenta una cuña de expansión que empuja dicho extremo contra el tubo de la horquilla cuando se aprieta el tornillo allen desde la parte superior de la potencia ajustando así ambos elementos (horquilla y potencia).

Existen dos sistemas de cuñas como se muestra en la siguiente figura. En la figura “a” al apretar el tornillo se establece contacto entre las dos superficies inclinadas que, al deslizarse una sobre otra, presionan lateralmente y bloquean la potencia en el tubo de la horquilla. En b, al apretar el tornillo parte del cono penetra en el tubo de la potencia y provoca la expansión del extremo inferior del mismo y por consiguiente el bloqueo del tubo de la horquilla.



**Figura 9. Sistema de cuña para potencias sin rosca**

La longitud de las potencias no tiene una regla fija y depende del uso real al que este destinada la bicicleta y de las necesidades de ajuste fino para compensar el tamaño del cuadro o el tipo de manillar. Como se ha mencionado en los parámetros geométricos del cuadro anteriormente, una potencia larga obliga a adoptar una postura más estirada apropiada para una conducción deportiva pero menos ergonómica al dificultarse la respiración aunque por otra parte cuanto menor sea la distancia desde el manillar hasta el tubo de la horquilla la dirección será más rápida. También se ha mencionado el ángulo de potencia el cual si buscamos comodidad debemos tener ángulos de potencias mayores de 0°. Ángulos negativos generan una conducción deportiva, con un apoyo sobre el manillar por debajo del punto donde se transmiten las fuerzas verticales provenientes de la rueda delantera, lo que tiende a mantener la bicicleta en contacto con el suelo cuanto las irregularidades del terreno (cuestas pronunciadas con marchas cortas) tienden a levantar la rueda delantera.



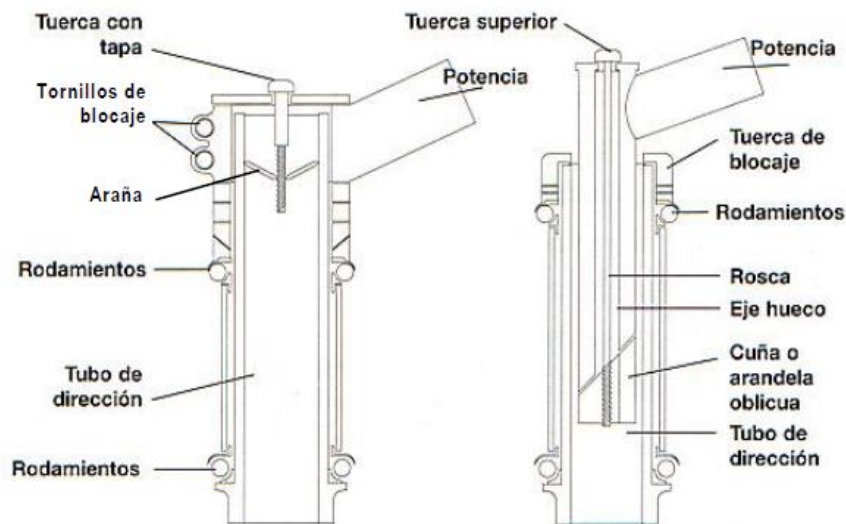


**Figura 10. Tipos de potencias con/sin rosca**

#### *1.4.2 .3 El juego de dirección*

Al juego de dirección le corresponde la importante función de proporcionar un guiado libre de rozaduras y holguras en la medida de lo posible además de una función amortiguadora. Une el cuadro con la horquilla y posibilita gracias a los rodamientos el guiado de la rueda delantera.

Los componentes del juego de dirección son: el casquillo inferior y superior que se encajan en el tubo de dirección del cuadro, un juego de rodamientos inferior que se coloca contra el casquillo inferior y que queda aislado del cono de la horquilla por un anillo estanco, un juego de rodamientos superior que se coloca entre una pista encajada en el extremo superior del tubo de dirección y el casquillo superior, una arandela de bloqueo y una contratuerca (para los casos de potencia con rosca) o una pieza denominada “araña” que se coloca dentro del tubo de la horquilla y una tapa que se coloca sobre dicho tubo (para los casos de potencias sin rosca o “ahead”). En la siguiente ilustración se muestran los dos casos de juegos de dirección. A la izquierda se muestran el sistema de dirección sin rosca y a la derecha con rosca.



**Figura 11. Diferencias entre los sistemas con/sin rosca**

#### *1.4.2.4 La horquilla*

La horquilla de la bicicleta recoge gran parte de las irregularidades de terreno. Suponiendo un hipotético impacto en la calzada el 80% de la carga de choque la absorben las ruedas, llantas y radios, un 10% la horquilla y el 10% restante el cuadro y manillar. Tanto las ruedas como la horquilla y el cuadro responden como si fueran muelles rígidos que se comprimen al recibir una carga generada por un obstáculo en la calzada y la inercia del ciclista lo cual la horquilla es un elemento que determinará la capacidad de absorción de los golpes y las irregularidades del terreno sobre el ciclista. De aquí que se incluyan en la horquilla sistemas de amortiguación absorber de manera progresiva los desniveles que nos encontremos. Por lo general las horquillas suelen estar fabricadas con metales similares a los del cuadro tales como aceros o aluminios. En la siguiente figura se muestran tres tipos de horquillas rígidas típicas. De la izquierda corresponde a una horquilla estándar o "Unicrown", la del medio es la "Unicrown dimensionada" y la de la derecha es la denominada "Switchblade" de vainas rectas y recambiables. Las más empleadas en la actualidad suelen ser las "Unicrown dimensionadas" en acero o aluminio ya que aportan una excelente respuesta de conducción a un bajo precio.



**Figura 12. Horquillas típicas habituales de montaña**

### 1.4.3 Sistema de transmisión:

Entendemos como sistema de transmisión como todos aquellos elementos que nos permiten transmitir a la calzada la potencia generada por nuestras piernas al pedalear. Está compuesto por los pedales, conjunto de pedalier (bielas y platos), eje del pedalier, la cadena y los sistemas de piñones o rueda libre.

#### 1.4.3 .1 Los pedales

Son los elementos en los que apoyamos lo pies y el primer eslabón del sistema de transmisión, desempeñando un papel importante como puntos móviles de equilibrio que ayudan a colocarse a la bicicleta en las curvas cerradas. Si los pedales no se adaptan a las zapatillas los resultados pueden ser molestias o lesiones. La siguiente ilustración muestra el ensamble de un pedal automático.

Aunque hay distintas formas de pedales, casi todos tienen unas características comunes: en el centro del pedal se encuentra un eje que atornilla en la parte final de la biela. Los retenes interiores de los juegos de rodamientos se sitúan en este eje, uno en el extremo interno, cerca de la biela y otro en el externo. Un dispositivo separado mantiene los retenes internos de los rodamientos. Sujeto a este pedal se encuentran los distintos soportes para el pie tales como rastrales, pedales de plataforma o piezas de plástico o metal en el caso de los automáticos. Los pedales automáticos permiten una fijación continua y precisa del pie al pedal mejorando la eficiencia en el pedaleo. Este tipo de pedales estaría destinado para bicicletas destinadas a usarse en terrenos donde las irregularidades dificultaran el apoyo del pie sobre el pedal. En la siguiente figura se muestra el ensamble de un pedal para bicicletas de montaña.

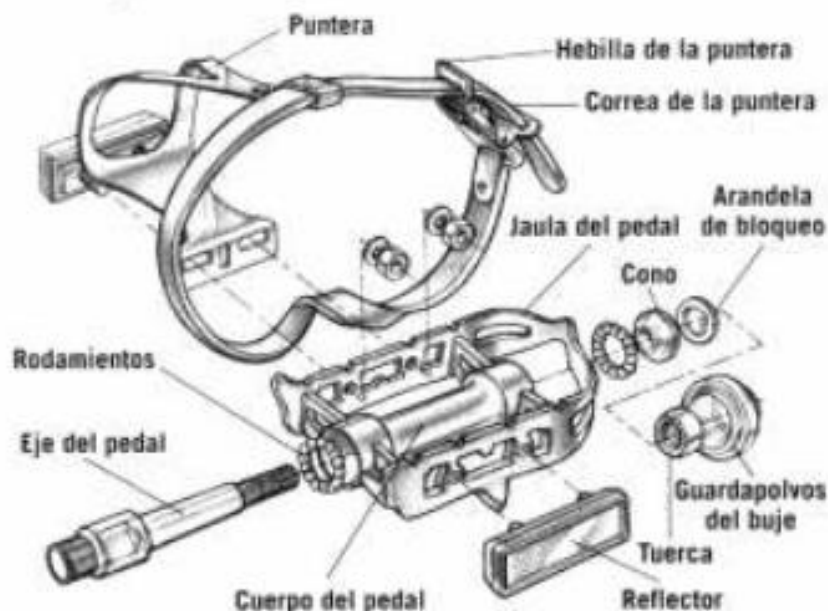


Figura13. Pedal automático tipo Shimano

#### 1.4.3.2 Conjunto de pedalier/eje de pedalier:

El pedalier es la base de los pedales y transmite la fuerza que se aplica sobre estos hasta la rueda trasera a través de la cadena y el sistema de piñones. La siguiente figura muestra el despiece del pedalier con tres platos.

El conjunto del pedalier incluye la biela izquierda, biela derecha (con su araña que permite atornillar los platos), los platos y el eje del pedalier en el que se encajan las bielas. Los extremos del eje del pedalier pueden ser cuadrados y ahusados, con 8 o 10 estrías o bien estar integrado en la biela derecha.

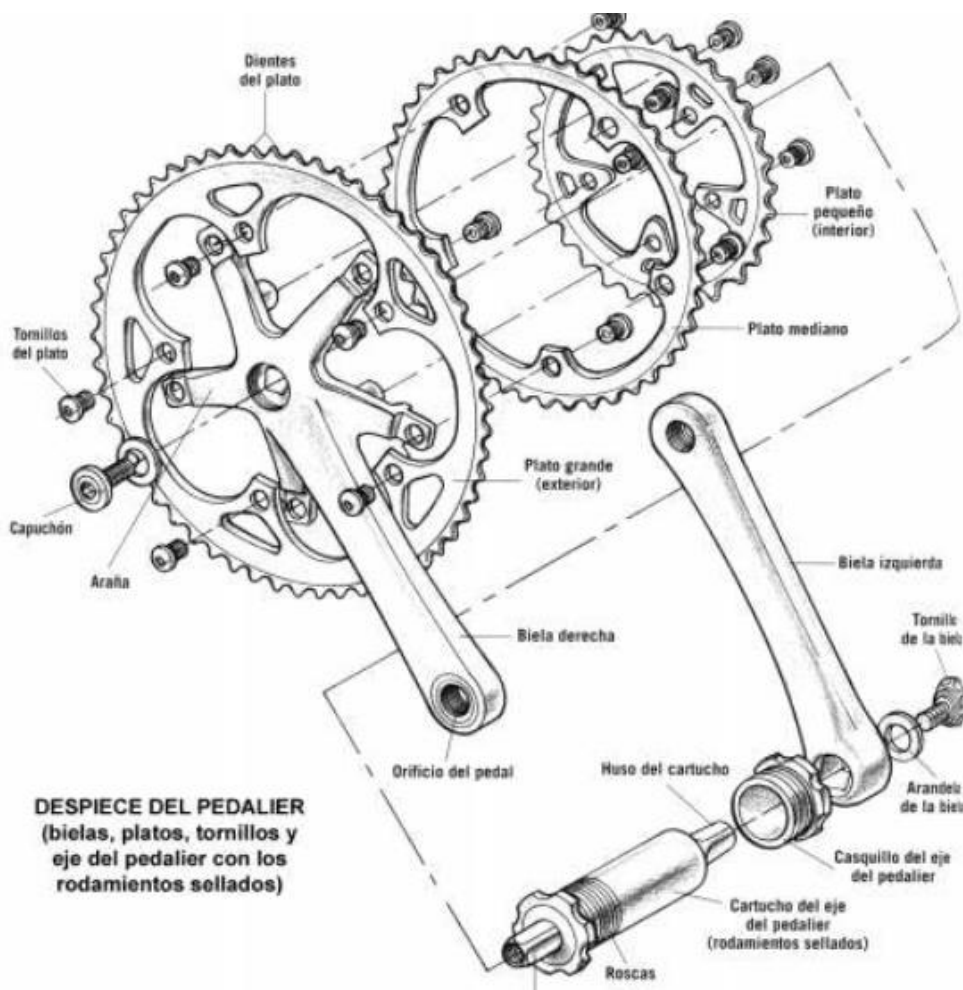
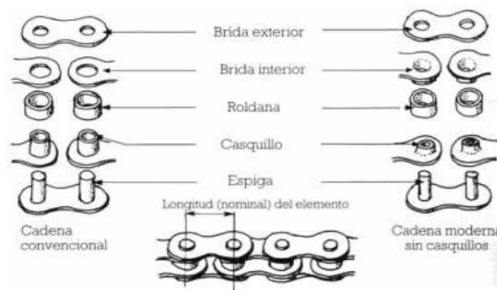


Figura 14. Despiece del pedalier

#### 1.4.3.3 La cadena

La cadena permite, al girar sobre platos y piñones, transmitir el impulso desde las bielas hasta la rueda trasera. Es un elemento crucial en el sistema de transmisión y el que requiere mayor mantenimiento. Esta debe ser engrasada o desengrasada según el uso al que se vaya a dar a la bicicleta. La cadena está compuesta

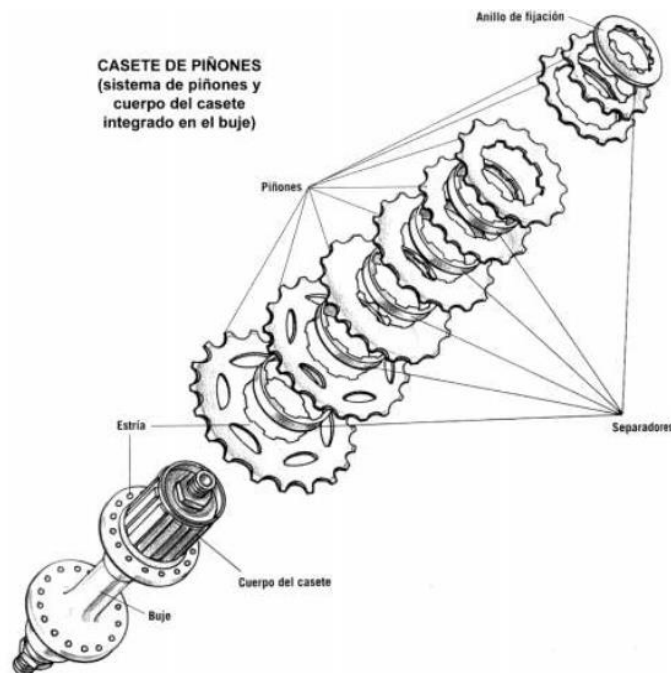
por unos 60 eslabones aproximadamente, dependiendo del número de platos y piñones, cada uno de los cuales consta de dos mallas interiores, dos rodillos o roldanas, dos pernos (pasadores) y dos mallas exteriores. En la siguiente figura se muestra el despiece de una cadena tradicional y una cadena actual. En las actuales no suelen montar el casquillo que se aprecia a la izquierda lo que permite una cadena más flexible ante tensiones laterales y con mayor durabilidad.



Las calidades de las cadenas varían de un fabricante a otro pero por norma general deberá cambiarse cada 2000km o al presentar los primeros síntomas de desgaste. 12 eslabones completos miden, de pasador a pasador, aproximadamente unos 30cm; si se sobrepasa esa medida en 3mm es necesario cambiarla.

#### 1.4.3 .4 El sistema de piñones: la rueda libre y el casete

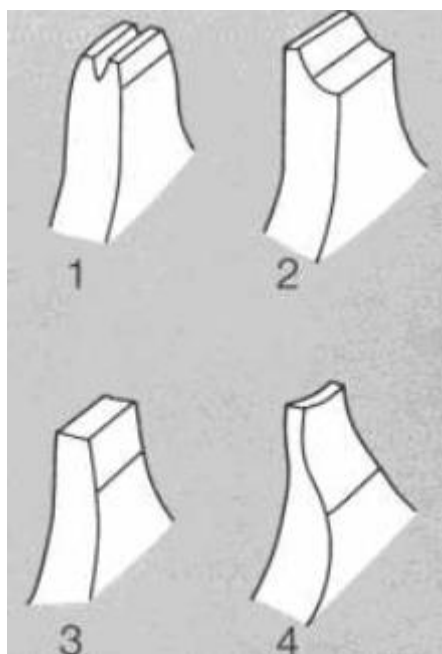
Es el vínculo de unión entre la cadena y la rueda trasera, a través del buje de esta última y supone el último eslabón en el sistema de transmisión. La siguiente ilustración muestra un sistema de 8 piñones *Shimano* con 6 piñones integrados y dos más roscados. El cuerpo del casete es estriado y se encuentra integrado en el buje



**Figura15. Cassete con 8 piñones tipo Shimano: 6 integrados y 2 roscados**

Aunque inicialmente las bicicletas sólo contaban con un piñón (piñón fijo) en la actualidad la gran mayoría suelen estar equipadas con un mecanismo de “trinquete” y piñones que conectan el buje posterior a través de la cadena con los pedales, pero permiten contra-pedalear cuando se dejan de accionar los pedales. El mecanismo de trinquete está compuesto de rodamientos, una marcha y uñas. Las uñas están en ángulo y descansan sobre muelles. Al contra-pedalear la marcha gira pasando las uñas, que saltan sobre los dientes de la marcha. Cuando se pedalea, en cambio, las uñas enganchan los dientes e impulsan la bicicleta.

Este dispositivo se denomina “rueda libre” porque desconecta la rueda trasera de las bielas. La rueda libre es, por lo tanto, un sistema que comprende los piñones y sus correspondientes separadores, unidos a un mecanismo de trinquete en el centro que impulsa cuando se pedalea, pero permitiendo el contra-pedaleo al dejar de pedalea. Esta sección central que incluye los rodamientos se le denomina núcleo de la rueda libre. Para unir la rueda libre hay un sistema de rosca en el centro, de manera que se puede enroscar el núcleo en el buje de la rueda trasera.



**Figura 16. Distintos perfiles de los dientes de los piñones.**

Los piñones no son más que discos con dientes (ruedas dentadas) de la misma manera que los platos. El número de dientes de los piñones y los platos determinará la relación de transmisión en cualquier momento. Cuantas más combinaciones de piñón y plato se tenga, mayores serán el número de relaciones posibles de marcha (metros de avance de la rueda por pedalada completa o revolución de la biela). Al tener mayor relaciones de marcha mayores serán las variedades de terreno por las que podremos circular. Las ruedas libres pueden tener piñones que se enroscan y otros integrados pero actualmente casi todos los piñones suelen ir integrados en el casete además de estar el casete a su vez integrado en el cuerpo del casete del buje, con una rosca interior que los une, con lo que se mejora y refuerza el posicionamiento de los rodamientos. En el caso de ir roscados los piñones se dificultaría la colocación de los rodamientos.

#### 1.4.3.5 La rueda

Independientemente del tamaño de la bicicleta y del número de marchas, siempre hay dos ruedas con un buje en el centro cuya circunferencia está formada por la llanta y el neumático, tradicionalmente formado por la cubierta y la cámara. Los radios unen al buje con la llanta. En la siguiente figura se muestra el esquema de una rueda, en este caso la delantera, sin el sistema de piñones.

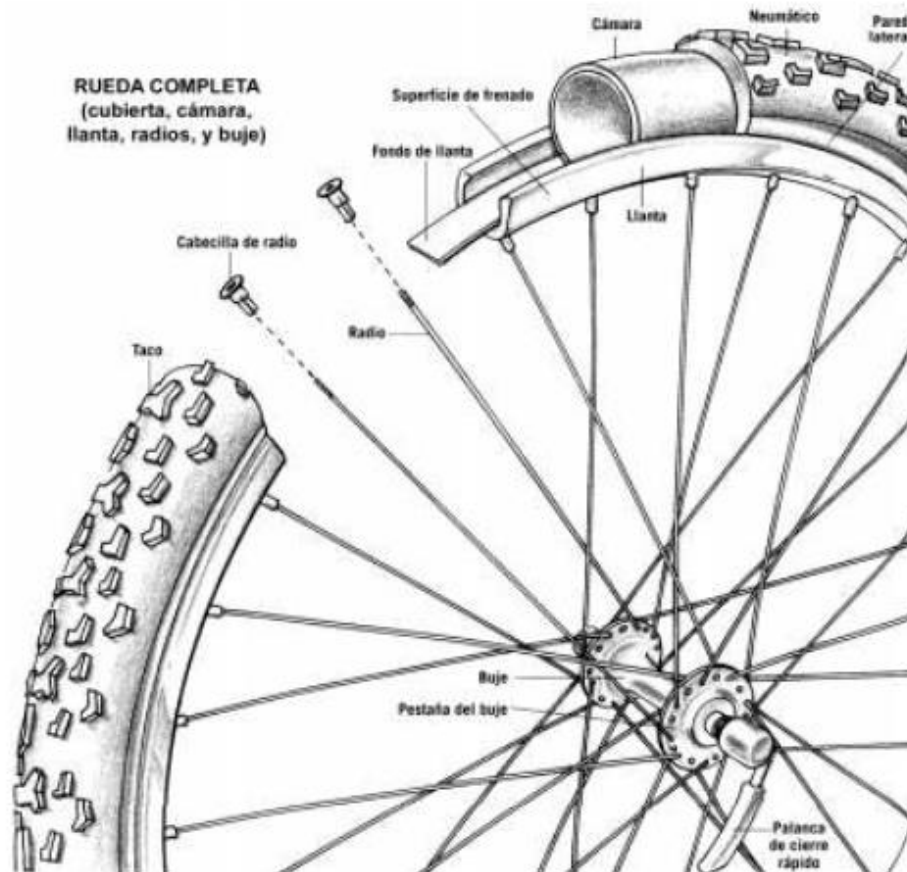
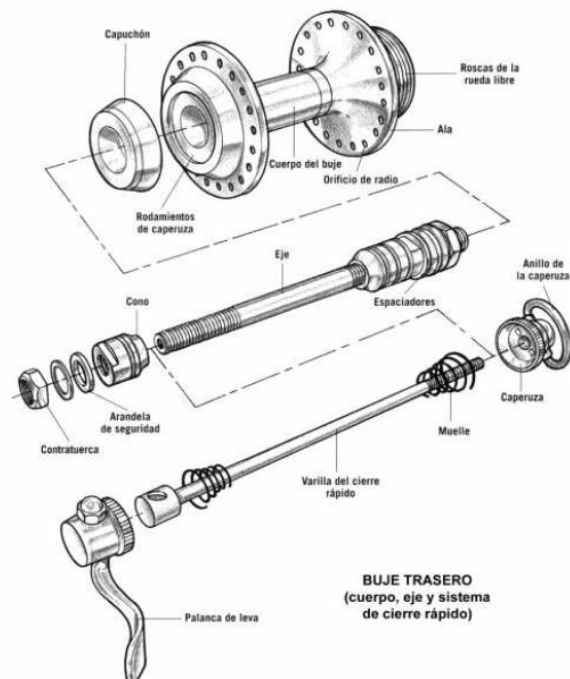


Figura 17. Esquema de una rueda

##### 1.4.3.5.1 El buje:

Los bujes permiten que gire la rueda y son el nexo de unión con el cuadro. Se componen de un cuerpo central formado por unas alas con agujeros situadas en los extremos por donde se introducen los radios, generalmente con 18 agujeros para los 36 radios de la rueda aunque pueden ser más o menos según la disposición de éstos. En el interior del cuerpo se encierra el mecanismo de giro los cuales son el eje y los rodamientos. Las alas a su vez pueden ser de varios tamaños. La magnitud de éstas dependerá del tamaño del cuerpo del buje, con el objeto de proporcionar una mayor rigidez en la conducción. Una conducción cómoda requiere de alas y cuerpo del buje pequeñas. En cualquier caso, la resistencia de la propia rueda viene determinada en mayor medida por el tipo de radios y su disposición además de la llanta.



**Figura 18. Esquema de un buje trasero para un sistema de piñones con rueda libre.**

La siguiente ilustración muestra el esquema de un buje trasero para un sistema de piñones con rueda libre (piñones roscados). Los componentes del buje delantero y trasero son los mismos a excepción del buje trasero con una mayor longitud y una rosca o pieza especial para alojar el casete además de un mayor número de rodamientos para reforzar las tensiones que recaen en el eje trasero, mayores que en el eje delantero. Como se aprecia en la imagen, además de los rodamientos, en el interior del cuerpo del buje existe un eje que lo atraviesa, en cuyos extremos roscados están los conos, espaciadores, arandelas y las contratuerzas para fijar todo el sistema. El mostrado es el sistema actual empleado en el que los bujes se montan con un eje hueco para alojar la varilla, los muelles, la palanca de leva y la caperuza roscada que componen el denominado “cierre rápido”. La ventaja del cierre es que no hace falta herramienta alguna para desmontar el buje, basta con apretar o aflojar la leva. A la izquierda de la siguiente figura se ve el corte transversal de un buje trasero con rueda libre. En el centro se ven las diferencias entre bujes delanteros de distintos tamaños de ala y cuerpo y a la derecha se aprecia un buje delantero sin cierre rápido con un eje macizo y tuercas en los extremos.

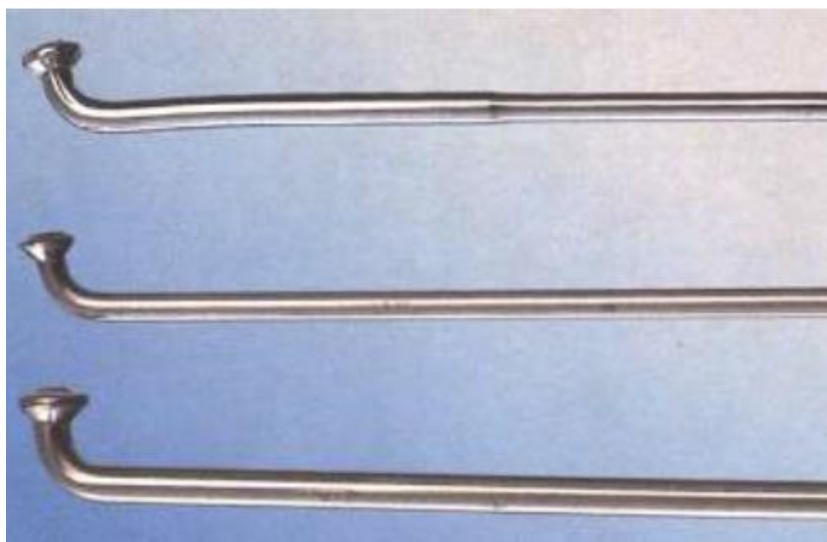


**Figura 19. Detalles de los bujes**



#### 1.4.3.5.2 Los radios

Los radios unen la llanta y dan a los neumáticos su forma debido a una tensión por tracción técnicamente uniforme. La cantidad de radios y el diámetro de éstos dependerán de la finalidad de uso de la bicicleta y el peso del ciclista. El patrón de cruce representa el número de radios que cruza cada uno de ellos desde su origen en el ala del buje hasta la cabecilla, agujero donde se aloja en la llanta. Los cruces pueden ser dos, tres o cuatro radios, siendo el de cuatro el más resistente, aunque el más pesado también. La llanta se centra respecto al buje atornillando y desatornillando la cabecilla al radio, de forma que éste presente más o menos tensión. La tensión adecuada para los radios con patrón de cruce es la que se consigue cuando dos radios que se cruzan pueden desplazarse unos pocos mm unos contra el otro, entre el cruce de radios y la cabecilla. Los buenos radios se fabrican en aceros de Níquel-Cromo inoxidables. Algunos radios son reforzados en los que en los extremos y en el cuello de la cabecilla su grosor es mayor que en su longitud.



**Figura 20. Radio normal (radio inferior) y radios especiales con grosor variable (dos radios superiores)**

#### 1.4.3.5.3 Las llantas

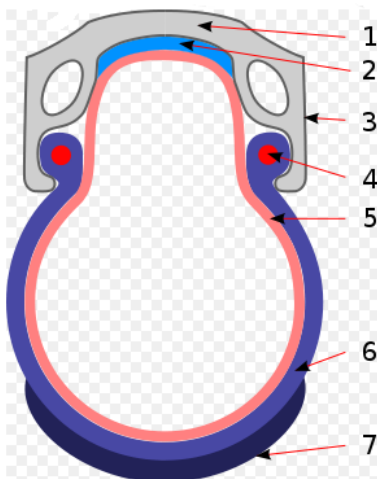
Son aros metálicos que alojan en su interior las cabecillas para enroscar los radios y que presentan molduras en su parte superior para la inserción del neumático, con o sin cámara. La anchura de las llantas oscila entre 20-40 mm y todas suelen llevar una banda de protección (fondo de llanta) entre los orificios y las correspondientes cabecillas de los radios para proteger la cámara de los pinchazos provocados por las cabecillas.



**Figura 21. Sección de tres llantas distintas. De izquierda a derecha respectivamente: llanta aerodinámica, llanta estrecha y llanta ancha**

#### *1.4.3.5.4 Cámaras y cubiertas:*

La cubierta y la cámara forman una unidad funcional y deben escogerse según la anchura de la llanta. Cuanto más ancha sea la rueda, mayor agarre debido a una mayor superficie de rodadura. Por el contrario al haber mayor rodadura la agilidad (velocidad de la bicicleta) se perjudica al haber mayor fricción. Por lo general las cámaras se adquieren con cierto margen de uso ya que se adapta perfectamente al interior de la cubierta. Denominamos neumático al conjunto de la cámara y cubierta. La cubierta está formada por la carcasa, la banda de rodadura y el alambre de talón.



- 1.- llanta
- 2.- fondo de llanta
- 3.- frenos
- 4.- alambre de talón
- 5.- Cámara de aire
- 6.- carcasa

Las medidas de los neumáticos están gravadas en la parte exterior de la carcasa junto con el valor de la presión, el diámetro de su cubierta y su sección. El perfil del neumático (banda de rodadura) dependerá del uso al que vaya a ser destinado la bicicleta. Por lo general para terrenos muy abruptos se requerirán de perfiles agresivos con tacos sobre salidos para la máxima rodadura, de mayor grosor y con mayor sección.



**Figura 22. Distintos perfiles y dimensiones de cubiertas. El de la derecha es un neumático “slick” adecuado para carretera sin perfil para adquirir la máxima velocidad y los otros de la izquierda corresponden a neumáticos de montaña con perfiles bruscos para el mayor agarre posible.**

Las funciones de la cubierta son, por lo tanto, las propiedades de rodadura, de tracción y de adherencia al terreno. La presión afectará también a las propiedades de rodadura, agarre y amortiguamiento; a mayor presión, menor será el agarre pero mayor la velocidad adquirida por la bicicleta; a menor presión, mayor agarre y amortiguación, pero menor será la velocidad adquirida por la bicicleta al haber mayor fricción.

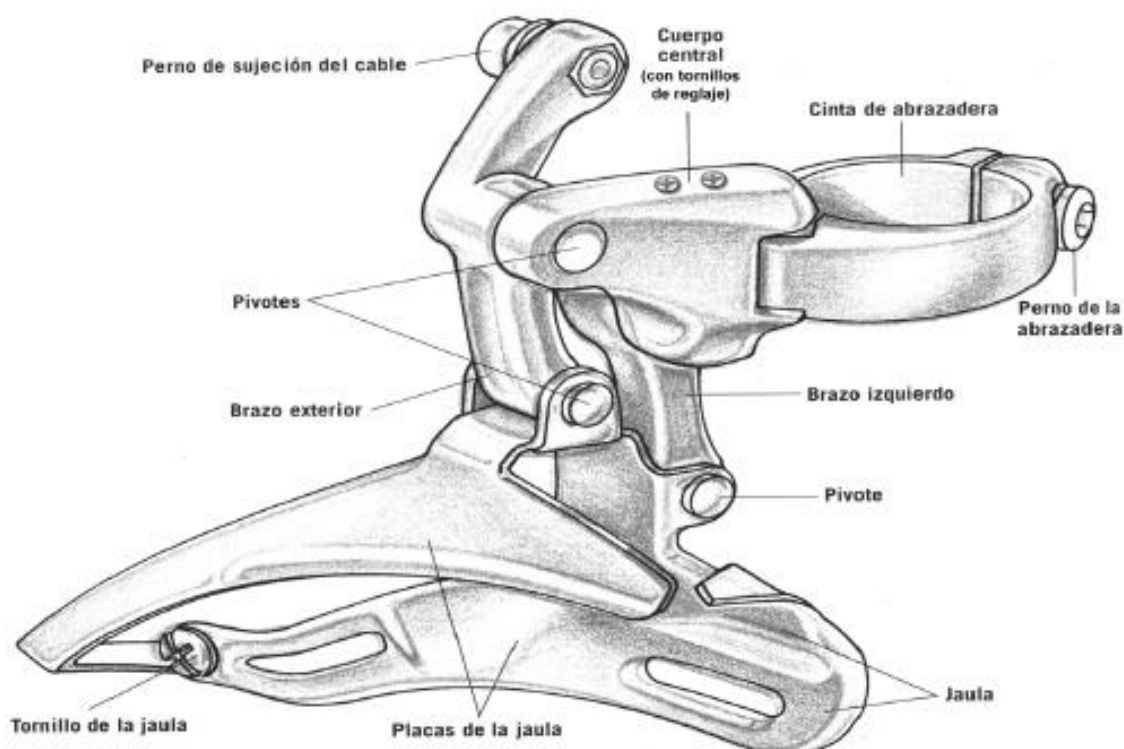
Las cámaras se construyen con mezclas de caucho, látex, poliuretano aportando ligereza y resistencia y está alojado entre la cubierta y la llanta como se muestra en la figura anterior. Amortiguan en gran medida las irregularidades del terreno

#### **1.4.4 Los cambios**

Son los mecanismos que nos permiten engranar las marchas de la bicicleta combinando platos y piñones al desviar la cadena a la altura de los platos o piñones deseados. En ellos se incluyen el desviador delantero que se encarga de engranar la cadena en los distintos platos, el cambio trasero que se encarga de cambiar los piñones y las palancas de cambio colocadas a ambos lados del manillar para poder controlar los cambios. Estos mandos o palancas están unidos mediante cables de acero tanto al desviador delantero como el cambio trasero. A continuación se describen las características de los cambios externos. En la actualidad el uso de los cambios internos ha incrementado drásticamente en comparación con los externos pero para explicar su funcionamiento nos basaremos en los cambios externos.

#### 1.4.4.1 El desviador delantero

El desviador delantero empuja lateralmente la cadena de un plato a otro. Opera sobre la parte superior de la cadena, mediante una palanca o mando situado en el manillar y conectado por un cable de acero al propio desviador. Al pulsar el mando la palanca se tensa o destensa y el desviador modifica la posición de la cadena empujándola lateralmente. Debemos estar pedaleando para cambiar de plato con lo que la acción de mover hacia un lado, el desviador tiene el efecto de desplazar la cadena de su plato al siguiente. La siguiente figura muestra el mecanismo del desviador delantero



**Figura 23. Desviador delantero**

Al operar sobre la parte superior de la cadena y junto con el hecho de que debemos estar pedaleando para cambiar de plato, se genera una tensión considerable en el momento del cambio, sobre todo al subir de plato, por lo que una pedaleada excesiva podría llegar a romper la cadena (casos extremos en pendiente) por lo que se debe cambiar de plato antes de que sea necesario. Existen distintos tipos de desviadores según el fabricante pero su funcionamiento es idéntico en todos. Tienen una abrazadera que lo sujeta firmemente al cuadro (al tubo del sillín), un perno para encerrar el cable de acero que llega desde la maneta de cambio, un cuerpo central donde yacen los “pivotes” y la jaula. El juego de los pivotes es el que permite el desplazamiento lateral. La jaula está compuesta por dos placas laterales planas y alargadas, que se cierran por delante y detrás para aprisionar en su interior la cadena que siempre debe girar atravesando

longitudinalmente la jaula. El ajuste correspondiente del desviador consiste en colocar la cadena de forma que no roce con los cierres de la jaula y gire libremente

#### 1.4.4.2 El cambio trasero:

El cambio trasero o desviador trasero permite desviar la cadena lateralmente hacia un piñón u otro. A diferencia del desviador delantero, éste actúa sobre el recorrido inferior de la cadena, en la zona baja de los piñones donde las tensiones son menores. Por ello, habitualmente los cambios son más suaves en los piñones además de que la secuenciación de dientes entre piñones es menor que entre platos. La tensión de la cadena en el punto donde se desvía la cadena hacia un piñón u otro es únicamente la que ejerce el propio desviador al cambiar puesto que va equipado con un muelle que elimina el exceso de holgura de la cadena. Este mecanismo garantiza que la cadena se mantenga siempre alrededor de los piñones cuando se cambia de uno a otro. La siguiente figura se muestra el despiece de un cambio trasero.

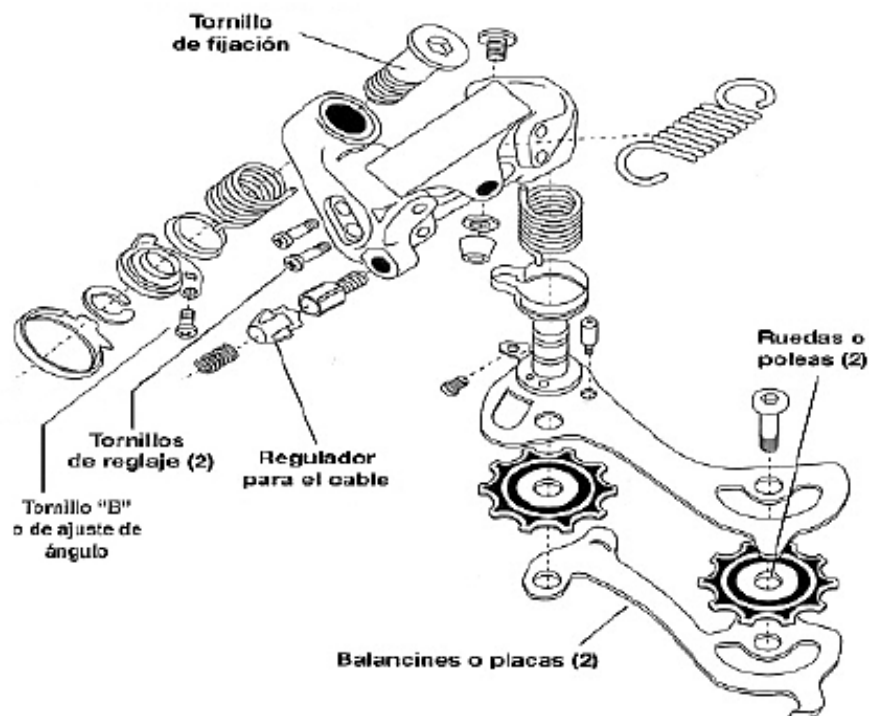


Figura 24. Despiece del cambio trasero

El cuerpo principal del desviador tiene forma de paralelogramo y va equipado con un muelle para moverlo en una dirección y un cable que proviene de la maneta de cambio. El muelle siempre está ejerciendo presión sobre la cadena de tal modo que al accionar la maneta de cambios se genera una tensión que vence la resistencia del muelle para desplazar la cadena hacia los piñones de un modo similar al desviador delantero.

#### *1.4.4.3 Palancas de cambio:*

Las palancas de cambio conectan con los desviadores mediante los cables de acero permitiendo engranar las marchas. Actualmente existen dos tipos de sistemas: el cambio de pulgar con palanca simple o doble (tipo Shimano) y el cambio de puño ( Grift Shift). En el primer caso el accionamiento ocurre al mover la palanca con el dedo mientras que en el segundo tenemos un mando giratorio. Tanto en uno como otro, al accionarlos se tensa el cable de acero provocando la desviación de la cadena sobre el plato o sobre los piñones. Estos cables tienen un tope que se encastra en el interior de la palanca o mando giratorio y permite mantener la tensión en todo momento, al estar aprisionado en el desviador correspondiente.



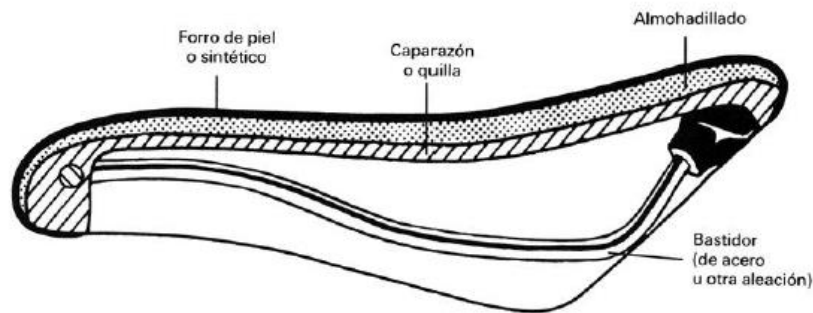
**Figura 25. Cambio de pulgar de palanca moderno**

#### **1.4.5 Conjunto del sillín y la tija:**

##### **1.4.6**

##### *1.4.5.1 El sillín:*

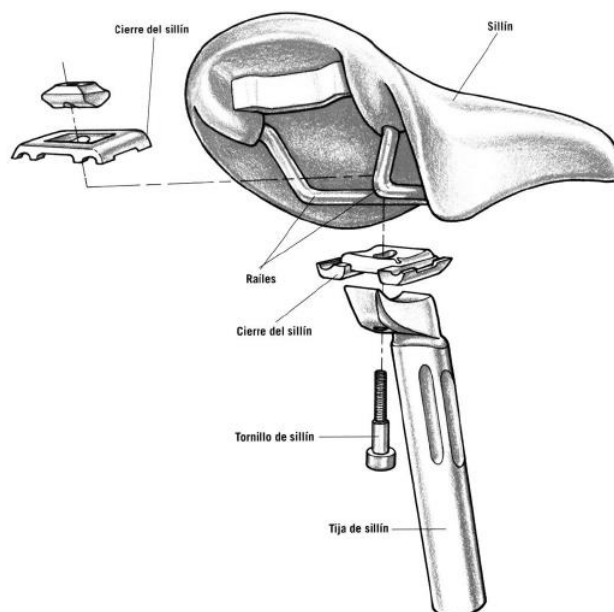
El sillín de la bicicleta está compuesto de un armazón y un soporte o bastidor que es donde descansa el armazón. Estos pueden ser de acero, plástico o piel. Los de acero suelen encontrarse en bicicletas de baja gama adultos y están cubiertos con un trozo de espuma. Lo de piel, son los mas caros y antiguos en cuanto a uso, pero también los mas cómodos ya que al cabo del uso la piel se vuelve elástica y suave adquiriendo poco a poco la anatomía de nuestro cuerpo. Estos requieren un mantenimiento especial debido a la piel. Los sillines acolchados con base de vinilo y los asientos de vinilo, piel o piel artificial son los habituales



**Figura 26. Partes típicas de un sillín de bicicleta.**

#### 1.4.5.2 La tija

La tija une el sillín con el cuadro de la bicicleta. Permite también ajustar la altura y posición del sillín hacia delante o atrás y está formado por un tubo y la nuez. La nuez sujeta simultáneamente los raíles del sillín en la posición deseada y fija también el sillín a la parte superior permitiendo ajustar tanto el desplazamiento longitudinal como el ángulo de ataque en relación con la horizontal. La nuez suele ser de acero y el tubo de acero o aluminio pero también los hay de materiales más ligeros como el titanio o el carbono. La siguiente figura muestra el ensamble de la tija con el sillín en una de las posibles uniones entre tija y sillín.



**Figura 27. Ensamble tija-sillín**

En ocasiones la nuez y la tija forman una sola pieza. Éstas son más rígidas y en las de mayor calidad se emplea un solo tornillo que atraviesa la nuez verticalmente y permite variar el ángulo y fijar el sillín a la tija al mismo tiempo.

Como norma general el sillín debe fijarse sobre la tija de modo que su base superior esté paralela al suelo. Si la nariz del sillín está inclinada hacia abajo se cargarán los hombros del ciclista a medida que circulemos mientras que si la nariz apunta hacia arriba se apreciarán molestias en la zona genital (en caso de hombres).

#### 1.4.6 El sistema de frenado

Los frenos nos permiten decelerar o detener la bicicleta completamente. Están formados por el mecanismo del freno, las zapatas y las correspondientes manetas o palancas de freno. Se cuenta también los cables de freno que unen la maneta izquierda y derecha al mecanismo de los frenos delantero y trasero respectivamente. Los sistemas de frenado pueden clasificarse en dos tipos: los frenos de llanta y los frenos de buje. Los frenos de llanta actúan a través de la presión ejercida sobre ambos lados de la llanta, y van desde los clásicos “Cantilever” hasta los actuales V-brake de última generación. Los frenos de buje actúan a través de la presión ejercida sobre el buje de la rueda, siendo comunes los frenos contra-pedal (algo anticuados) frenos de tambor o los frenos de disco ya sean hidráulicos o neumáticos. Dosificar la velocidad con el freno para circular es cuestión de tacto y práctica, pero en todos los casos la energía cinética se disipa en forma de calor



**Freno de disco mecánica**



**Frenos V-brake**

#### 1.4.7 Componentes para ciudad

Aquí se describen los componentes imprescindibles y obligatorios y otros convenientes para la conducción urbana.



#### 1.4.7.1 Iluminación:

Es obligado el uso de luces en las bicicletas por la noche en la vía pública. Generalmente este tipo de luces suelen ser alimentadas por dinamos. Los dispositivos de luz que deben tener las bicicletas urbanas son: luz de posición delantera de color blanco o amarillo y luz trasera de color rojo, catadióptrico trasero, y si se desea catadióptricos en los radios de las ruedas y en los pedales. Los catadióptricos son elementos de seguridad pasiva, permite que seamos vistos por otros vehículos cuando, en condiciones de baja visibilidad nos enfoquen con las luces de sus faros y a excepción del catadióptrico obligatorio trasero es aconsejable montarlos en las ruedas y pedales para reflejar las luce laterales. Podemos disponer también de un conjunto desmontable de pequeñas luces portátiles que podemos poner y quitar con rapidez.



**Luz trasera de posición**



**Luz delantera de posición**

En caso que requieras la bicicleta para ciclo-turismo, en caminos urbanos e interurbanos necesitarás una luz que te permita iluminar el camino, ya que en carretera y en caminos rurales la iluminación escasea. Distinto es en la ciudad donde la luz es bastante más abundante, por lo que una luz con patrones de intermitencia diseñadas para ser visto por otros, resultará útil para desarrollar tus viajes con seguridad. Existen tres tecnologías lumínicas empleadas en las bicicletas: el bulbo incandescente, la lámpara halógena y el LED.

*Bulbo incandescente:* típica ampolleta de linterna que funciona con un filamento de metal, el que se coloca incandescente cuando pasa la corriente eléctrica. Es el sistema más ineficiente generando muy pocos lux por W consumido.

*Lámpara halógena:* tecnología que se incorporó hace poco en la industria de luces para bicicletas. Funcionan de manera similar a los bulbos incandescentes, pero en vez de filamento metálico, es un gas el que se encarga de hacer de puente entre dos electrodos, lo que produce una luz realmente intensa. Gran rendimiento lumínico por con un alto coste.

*LED:* Altamente durable y de bajo costo. Entregan una buena cantidad de luz con una demanda baja de energía. Actualmente son los más utilizados en la fabricación de luces para bicicletas.

Para la generación de la energía consumida por las luces se destacan 3 sistemas: baterías, dinamos i imanes.

Baterías o pilas: permite que la emisión de luz sea constante estés o no en movimiento. Por el contrario las pilas no son baratas y requieren materiales bastante tóxicos para su fabricación

*Dinamos:* El dínamo es un generador de energía eléctrica y uno de los sistemas más eficientes que, en el caso de la bicicleta, aprovecha el movimiento de las ruedas para generar la energía que utilizarán las luces que estén conectadas a él. Existen dos modelos de dinamos diseñados especialmente para la bici. El convencional, que va colocado a un costado de la rueda y la dínamo de masa, que es una dínamo integrada en el interior de una masa. La dínamo convencional presenta un roce importante en la rueda, lo que puede hacer más pesado el pedalear. A mayor calidad presenta menor roce y mayor durabilidad. El dínamo de masa por su lado, requiere casi nada de mantención, presenta menor roce que el convencional pero el peso de la masa es significativo en contraste con una masa normal

*Imanes:* El uso de imanes para la generación de energía eléctrica es relativamente nuevo en las bicicletas. El principio de funcionamiento es similar al de la dínamo, salvo que no presenta roce. Unos imanes colocados en los rayos pasan por una bobina colocada en la luz y genera electricidad. La cantidad de energía que puede generar sirve para alimentar LEDS y hasta el momento no alcanza para focos que permitan iluminar el camino. Al igual que el sistema de dínamo, la entrega de energía eléctrica se detiene cuando el movimiento de las ruedas es 0.

#### 1.4.7.2 Timbres

En una bicicleta urbana es obligatorio el uso de timbres, un accesorio que muchas veces pasa desapercibido pero que resulta muy útil dado que estamos usando un medio de transporte muy silencioso con lo que necesitamos avisar de nuestra presencia a los peatones que caminen por nuestro carril o vayan a cruzar de repente



**Figura 28. Timbre corriente para bicicleta urbana.**

#### *1.4.7.3 Guardabarros:*

Se convierte en algo muy aconsejable el uso de guardabarros en ciudad ya que las vestimentas usuales de los usuarios durante la circulación suele ser formal y no se desea en ningún momento manchar la ropa. Generalmente se fabrican con plásticos.



**Juego de guardabarros delantero y trasero**

#### *1.4.7.4 Cubrecadenas:*

Por la misma razón que los guardabarros los cubrecadenas nos evitarán manchar la ropa con la cadena además de que podría resultar un peligro que se enganchara la tela del pantalón con el plato y la cadena pudiendo colisionar con la bicicleta



**SKS Cubrecadena CHAINBOARD Negro**

#### *1.4.7.5 Portaequipajes:*

Otra de las características de las bicicletas urbanas es que permite hasta cierto punto transportar cargas. Según las necesidades hay varios sistemas para el transporte de carga en las bicicletas urbanas: las alforjas, bolsas y cestas. Las alforjas son bolsas que van suspendidas (aunque aseguradas) en los laterales de las ruedas. Para llevar alforjas es necesario que nuestra bicicleta urbana tenga algún tipo de portabultos. Las alforjas permiten llevar gran cantidad de carga a poca altura con lo que el centro de gravedad de la bicicleta se mantiene bajo y tiene menos problemas de estabilidad. Si vamos a llevar una cantidad grande de peso las

alforjas son nuestra opción. Si necesitamos llevar menos cantidad de carga podemos optar por usar bolsas o pequeños cofres de manillar o suspendidos en el cuadro de la bici, si su diseño lo permite. También existen cestas que nos permiten con facilidad llevar la carga. En este tipo de productos hay una gran variedad de estilos, prestaciones y variedad



**Alforjas**



**cestas**

## 1.5 Desarrollo computacional de los diseños

Para el diseño y la validación de cualquier elemento mecánico suelen emplearse las herramientas computacionales denominadas herramientas CAD,CAM y CAE.

### 1.5.1 Introducción al diseño, fabricación y cálculo asistido por ordenador

**CAD.** (Diseño asistido por ordenador) se refiere al uso de herramientas computacionales que asisten a ingenieros y diseñadores. Se basan en herramientas de dibujo 2D (croquis) y herramientas de dibujo 3D (modelado). Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos. Generalmente los programas CAD poseen también herramientas para optimizar el diseño en el caso de que la geometría contenga errores durante el modelado (forma, dimensiones,...), herramientas para la revisión y evaluación del diseño en el caso de que haya errores que eviten el correcto funcionamiento del mecanismo diseñado y herramientas para la realización de planos técnicos incluyendo, perspectivas, piezas a escala, secciones,...

**CAM** (Fabricación asistida por ordenador) se refiere al uso de herramientas computacionales para ayudar en la fase final de manufactura. Forma parte del sistema de planificación del proceso y la producción. Debido a sus ventajas, se suele combinar el diseño y la fabricación asistidos por computadora en los sistemas CAD/CAM. La base de datos que se desarrolla durante el CAD es procesada por el CAM, para obtener los datos y las instrucciones necesarias para operar y controlar la maquinaria de producción, el equipo

de manejo de material y las pruebas e inspecciones automatizadas para establecer la calidad del producto. Una de sus funciones básicas es la posibilidad de describir la trayectoria de la herramienta para diversas operaciones, como por ejemplo el torneado, fresado y taladrado con control numérico. El ingeniero o el técnico pueden entonces mostrar y comprobar visualmente si la trayectoria tiene posibles colisiones con prensas, soportes u otros objetos.

**CAE.** Es el conjunto de herramientas computacionales que permiten analizar y simular los diseños realizados mediante los paquetes CAD o creados de otro modo e introducidos en el ordenador para comprobar y valorar sus propiedades y características ante unas condiciones e contorno descritas. Su finalidad es optimizar su desarrollo y consecuentes costos de fabricación y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado. Las herramientas de CAE (ingeniería asistida por ordenador) permite los cálculos de elementos finitos (MEF) de los sólidos con lo que incluye herramientas para generación de malla

#### 1.5.2 Software empleado: NX8.0 y NX Nastran

El programa empleado para la creación de los modelos CAD de las piezas en este proyecto es el **NX8.0**. También conocido como **Unigraphics NX** es un paquete de software de herramientas CAD/CAM/CAE PLM desarrollada por Siemens PLM Software. Es ampliamente utilizado en la industria de la ingeniería y especialmente en los sectores automotriz y aeroespacial. Dentro de los paquetes de herramientas CAE de NX8.0 existen distintos solucionadores o “Solvers”. Entendemos como solucionadores a aquellos programas que poseen las herramientas CAE necesarias para poder realizar las simulaciones mediante el método de los elementos finitos. De entre los posibles Solvers que contiene NX8.0 nos decantamos por el Solver **NX Nastran** el cual ofrece la posibilidad de realizar cálculos estructurales de forma sencilla.

NASTRAN consiste en un programa de análisis de elementos finitos programa (FEA), que fue desarrollado originalmente por la NASA a finales de 1960 bajo el financiamiento del gobierno de Estados Unidos para la industria aeroespacial

NASTRAN está escrito principalmente en FORTRAN, (lenguaje de programación adecuado para el cálculo numérico y computación científica) y contiene más de un millón de líneas de código. NASTRAN es compatible con una gran variedad de computadoras y sistemas operativos. Nastran consiste en varios módulos. Un módulo es una colección de subrutinas diseñado para llevar a cabo una tarea específica que abarca el procesamiento de la geometría, montaje de matrices, generación de las limitaciones, la solución a la matriz descrita, cálculo de magnitudes de salida. NASTRAN es principalmente un programa de solución de análisis de elementos finitos. No tiene una funcionalidad que permita construir gráficamente un modelo o mallado. Todas las entradas y salidas del programa se presentan en forma de archivos de texto por lo múltiples proveedores han adquirido la licencia con tal de unificar y simplificar la fabricación de un modelo de elementos finitos y analizar los resultados mediante los códigos fuente de programación del sistema Nastran. Es el caso de NX Nastran. NX Nastran fue resultado de una acción de la FTC contra MSC Corporation por supuesta actividad antimonopolio. El acuerdo antimonopolio permitió la compra de una licencia perpetua, para el código fuente MSC.Nastran. Se añadieron las capacidades de NX CAD y otros

componentes para formar la *EDS / UGS PLM Solutions* gestión del ciclo de vida del producto. Esta línea de productos fue adquirido por SIEMENS en 2007 y se convirtió en *Siemens PLM Software* .

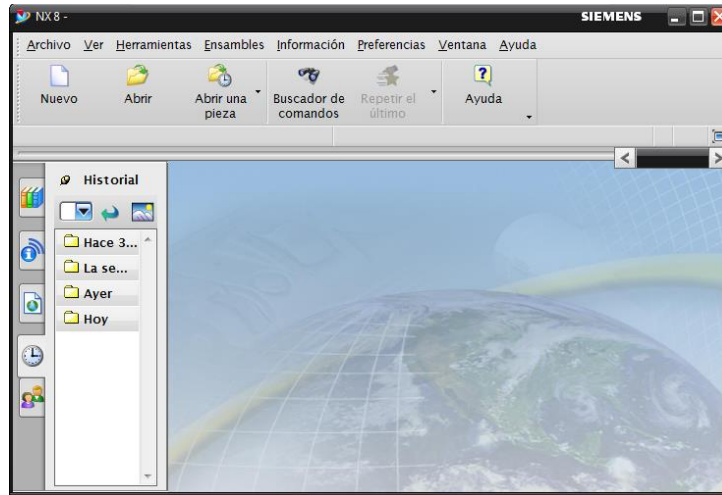
Cada tipo de análisis disponible se llama una secuencia de solución.

Algunos de los códigos más comunes de secuencias de soluciones son:

- 101 - Lineal Estático
- 103 - Modal
- 105 - Pandeo
- 106 - No-Lineal Estático
- 107 - Complejo Eigenvalue directo
- 108 - Respuesta de frecuencia directa
- 109 - Direct respuesta transitoria
- 110 - Modal Complejo Eigenvalue
- 111 - Modal Respuesta de frecuencia
- 112 - Modal respuesta transitoria
- 129 - no lineal transitoria
- 144 - Análisis estático aeroelástica
- 145 - Análisis Flutter / Aeroservoelástico
- Análisis Dinámico aeroelástica - 146
- 153 - estático no lineal junto con la transferencia de calor
- 159 - No lineal transitorio junto con la transferencia de calor
- 187 - DDAM
- 200 - Optimización del diseño y análisis de sensibilidad
- 400 - No Lineal Estático y Dinámico (implícito) (MSC.Nastran natal, sustituye 106, 129, 153 y 159 - parte de MSC.Nastran)
- 600 - No Lineal Estático y Dinámico (implícito) (front-end para MSC.Marc - parte de MSC.Nastran)
- 601 - implícito no lineal ( ADINA para NX Nastran)
- 700 - Explícito no lineal (LS Dyna plus MSC.Dytran - parte de MSC.Nastran)
- 701 - Explícito no lineal ( ADINA para NX Nastran)

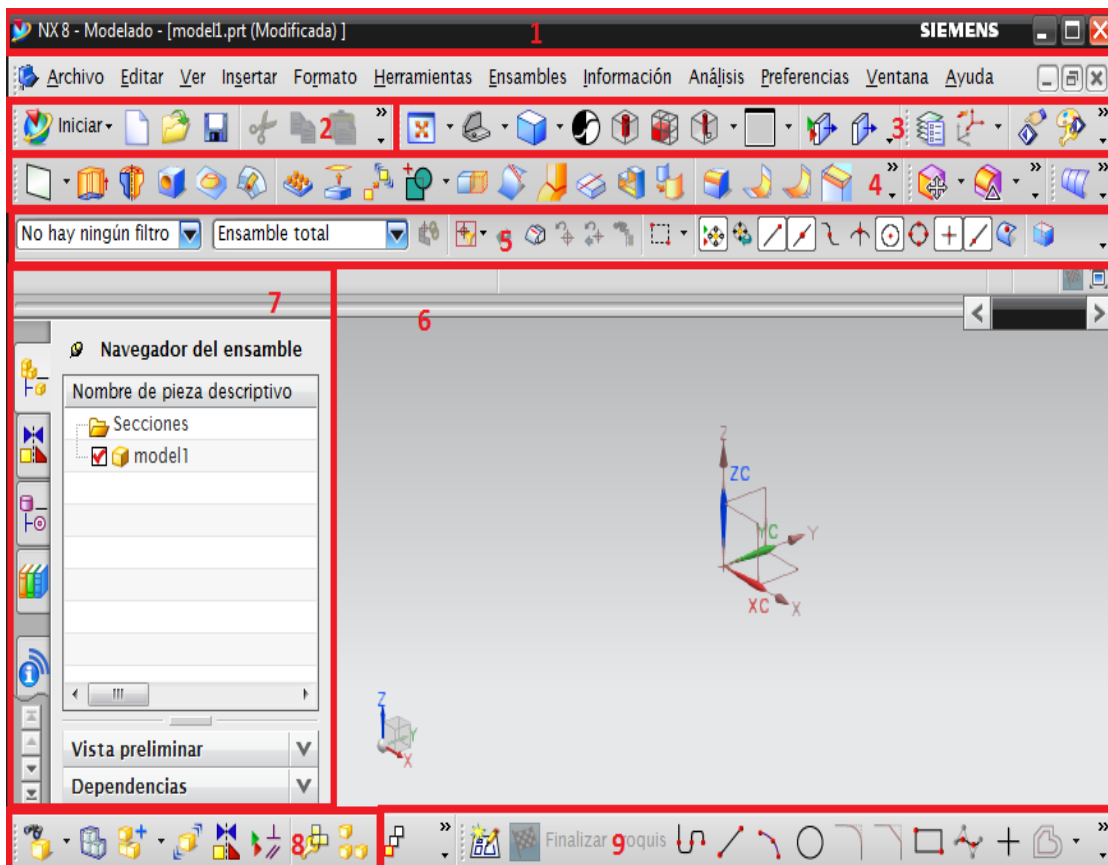
### 1.5.3 Módulo de modelado CAD y ensamblado en NX 8.0:

Al iniciar NX se muestra la interfaz de NX. Esta interfaz permite al usuario realizar acciones como ajustar opciones por defecto, abrir piezas, imprimir proyectos, crear nuevas piezas, revisar ficheros u obtener información sobre éstos.



**Figura 29. Visualización estándar del entorno NX8.0**

Al seleccionar la opción “Nuevo” elegiremos la opción de modelado (se presentan todas las opciones disponibles para el programa tanto herramientas para procesos CAD, CAM, CAE). Seguidamente se nos mostrará la interfaz propia de modelado en NX 8.0



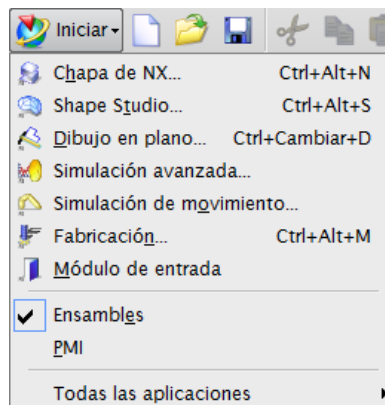
**Figura 30. Interfaz de modelado en Unigraphics NX.**

### 1.- Barra de título:

Visualiza la información de la pieza de trabajo y, si ha sido modificada o es de lectura

### 2.- Menú de entrada NX8.0:

Permite al usuario realizar acciones tales como ajustar opciones por defecto, abrir una pieza existente, imprimir proyectos, abrir o crear piezas para trabajar, etc... desde esta barra de herramientas, dependiendo de la licencia adquirida, el usuario podrá manejar los siguientes entornos de NX:





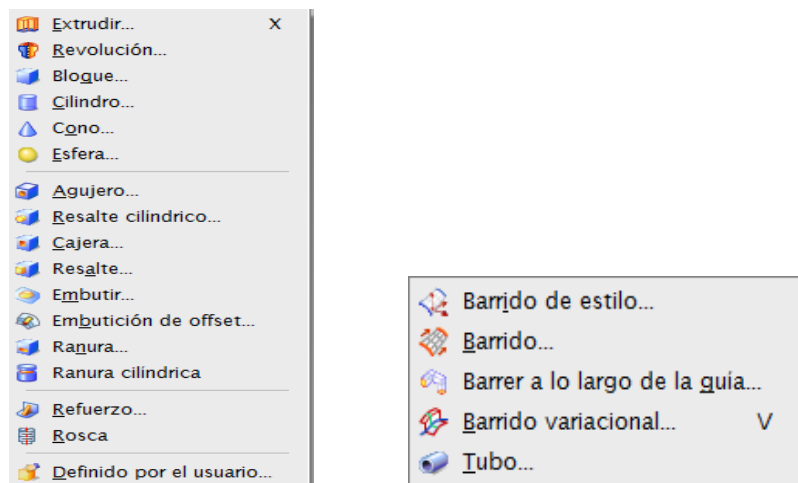
- Chapa de NX: Entorno de diseño de chapa de doblado directo
- Shape Studio: entorno específicamente adaptado para diseño industrial
- Dibujo en plano: entorno de creación y edición de planos
- Simulación avanzada: entorno CAE de análisis de elementos finitos
- Simulación de movimiento: entorno CAE de análisis de movimiento cinemático y dinámico de mecanismos
- Fabricación: entorno CAM (fresado, torneado, electro-erosión, etc...

### 3.- Barra de visualización de objetos:

Se incluyen las herramientas para la visualización de objetos, desde vistas, perspectivas, secciones, modificación de colores, texturas, sombreados, etc... Se incluye también las herramientas para la visualización y orientación de los sistemas de coordenadas espaciales del software.

### 4.- Operaciones de modelado:

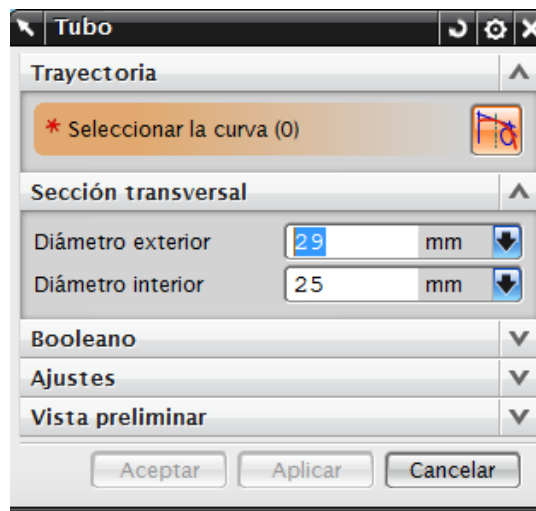
Combina las operaciones para la generación de modelos ya sea 2D para la generación de superficies o 3D para la generación de volúmenes. Podemos generar un cuerpo sólido 3D mediante la extrusión de un croquis o mediante la creación de figuras de diseño en 3D. La siguiente figura muestra el menú con las distintas opciones de modelado.



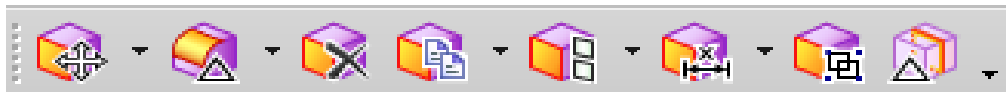
**Figuras de diseño**

**Operaciones basadas en curvas**

Para el correcto modelado de los componentes, requerimos, además de las extrusiones y revoluciones, otro tipo de herramientas de modelado basado en curvas para realizar la extrusión de la sección de forma no normal al plano de la sección por lo que se emplearán los barridos, herramienta disponible en el software capaz de generar sólidos mediante el barrido de una sección por guías previamente definida (curvas realizadas mediante croquis). Las siguientes opciones permiten realizar barridos de sección continua o de sección variable. Dentro de estas opciones se encuentra la herramienta “Tubo”, la cual emplearemos a lo largo de todo el proyecto. Únicamente debemos asignar los diámetros interiores y exteriores del tubo y el eje de dirección del tubo (sea recto o curvilíneo) para realizar el modelado 3D del tubo.



Los actuales programas de software cuentan con la denominada tecnología “síncrona”. A las herramientas de modelado directo son añadidas las herramientas de modelado síncrono, las cuales brindan una gran libertad al usuario para cualquier modificación de diseño. El objetivo esencial es presentar un enfoque para cada modificación de diseño, y en especial, modificar el estado actual de un modelo independientemente de la forma en que se construyó, los orígenes, la asociatividad o el historial de la figura. Se incluyen opciones como mover, arrastrar, modificar, transformar, redimensionar, copiar, pegar o cortar caras entre otras herramientas.



##### 5.-Barra de selección:

Proporciona métodos de filtrado para la selección de objetos ya sean caras, planos, curvas, puntos, cuerpos sólidos, cuerpos laminares, nodos, restricciones, ...Para la selección de puntos en curvas se tiene otro filtrado en donde podemos seleccionar los puntos finales, medios, de intersección, de cuadrante,

##### 6.- Ventana gráfica:

Donde se crean, visualizan y modifican los modelos, montajes, etc

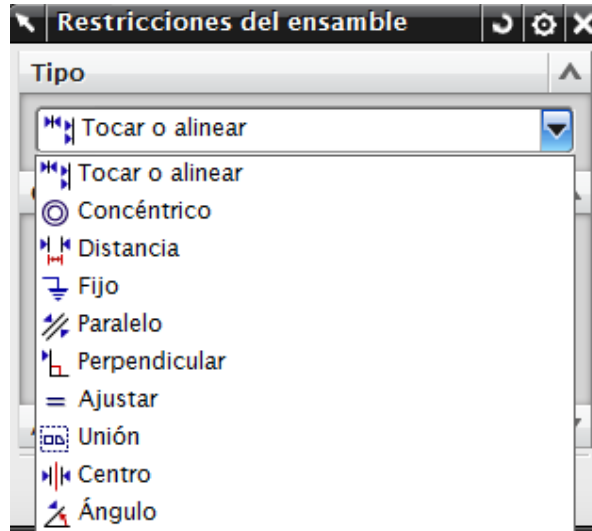
##### 7.- Barra de recursos:

Combina un número de páginas de información en un solo lugar usando muy poco espacio en la interfaz.

##### 8 Operaciones de ensamblado:

Incluye las herramientas necesarias para la creación de ensamblajes tales como la agregación de componentes, posicionamiento de los componentes, restricciones, visualizar componentes,... Emplearemos usualmente las

restricciones del ensamblaje para el posicionamiento de los componentes dentro del conjunto. Se denominan restricciones del ensamblaje i definen la posición de los componentes empleando restricciones de posicionamiento. Las restricciones disponibles se muestran en la siguiente figura:



- Ángulo (define una dimensión angular entre dos objetos);
- Concéntrico (centro uno o dos objetos entre un par de objetos)
- Unión (componentes “soldados” se mueven juntos como un cuerpo rígido);
- Ajustar (ajusta a piezas de geometría que son del mismo tamaño,
- Distancia ( especifica la mínima distancia en 3D de dos componentes,
- Fijo (fija un componente en su posición actual,
- Paralelo (define el vector de dirección de dos objetos paralelos entre sí)
- Perpendicular ( define el vector de dirección de dos objetos perpendiculares entre sí)

#### 9.- Herramientas de croquis:

Incluye las herramientas necesarias para el desarrollo de un croquis. Entendemos por croquis como al conjunto de curvas y puntos localizados en un determinado plano. Los croquis son asociativos con las figuras creadas a partir de él. Las herramientas incluyen desde la generación de líneas, arcos, curvas, chaflanes, offset, recortes hasta el posicionamiento y restricciones en el croquis.



### 1.5.4 Método de los elementos finitos.

El MEF o FEM en inglés es un método matemático pensado para computadoras que permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a cuestiones físicas sobre geometrías complicadas pudiendo diseñar y mejorar de antemano productos y aplicaciones de forma virtual sin necesidad de costes.

Permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) —sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales en forma débil o integral que caracterizan el comportamiento físico del problema— dividiéndolo en un número elevado de subdominios no-intersectantes entre sí denominados «elementos finitos».

Los conceptos teóricos básicos de las herramientas de cálculo mediante el MEF, representan problemas físicos que pueden ser expresados mediante alguna de las siguientes ecuaciones:

$$[K]\{q\} = \{f\}$$

$$[C]\{q'\} + [K]\{q\} = \{f\}$$

$$[M]\{q''\} + [C]\{q'\} + [K]\{q\} = \{f\}$$

$[M]$  = Matriz de Masa

$[C]$  = Matriz de amortiguamiento

$[K]$  = Matriz de rigidez

$\{q\}$  = Vector de desplazamientos nodales

$\{q'\}$  = Vector de velocidades nodales

$\{q''\}$  = Vector de aceleraciones nodales

$\{f\}$  = vector de fuerzas externas.

El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «mall».a

Los cálculos realizados en la computadora se realizan sobre una mallla de puntos, llamados nodos que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. De acuerdo con estas relaciones de

adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos. Como se ha mencionado, es una solución aproximada dado que la solución es únicamente exacta en los nodos. En los demás puntos cercanos a los la solución se obtiene interpolando los resultados obtenidos en los nodos.

En general el MEF puede resumirse en los siguientes pasos:

1º.- A partir de la realidad física de la estructura, sus apoyos y tipos de carga que actúen sobre ella, es necesario primeramente seleccionar un modelo matemático apropiado para describir el comportamiento de la estructura. También hay que definir con detalle las propiedades mecánicas de los materiales y el carácter de la deformación de la misma (pequeños o grandes desplazamientos, análisis estático o dinámico, etc.) Asimismo, para el planteamiento de las ecuaciones de equilibrio, se hará uso de las diferentes teorías establecidas.

2º.- Una vez seleccionado el modelo matemático se procede a discretizar la estructura en porciones no intersectantes entre sí denominadas “elementos finitos”, dentro de los cuales se interpolan las variables principales en función de sus valores en una serie de puntos discretos del elemento denominados “nodos”. Los elementos se conectan entre sí por nodos situados en sus contornos. Esta etapa de discretización constituye una parte esencial de la fase de pre-proceso que incluye la representación gráfica de la malla de elementos finitos.

3º.- A partir de las teorías para el planteamiento de las ecuaciones de equilibrio se obtendrán las matrices de rigidez  $\mathbf{K}(e)$  y el vector de cargas  $\mathbf{f}(e)$  para cada elemento.

4º.- Se procede a ensamblar las matrices de rigidez y el vector de carga elemental en la matriz de rigidez global de toda la malla de elementos finitos  $\mathbf{K}$  y el vector de cargas sobre los nodos  $\mathbf{f}$ , respectivamente.

5º.- El sistema de ecuaciones resultante  $\mathbf{Kq} = \mathbf{f}$  se resuelve para calcular las variables incógnitas (desplazamientos de todos los nodos de la malla)  $\mathbf{q}$ , utilizando uno, cualquiera, de los métodos conocidos para la solución de ecuaciones algebraicas simultáneas lineales.

6º.- Una vez calculados los movimientos nodales se pueden calcular las deformaciones y, seguidamente, las tensiones en cada elemento, así como las reacciones en los nodos con movimientos prescritos.

7º.- Obtenidos los resultados, la etapa siguiente es la interpretación y presentación de los mismos. Para ello suelen usarse las presentaciones gráficas de la misma herramienta informática en uso.

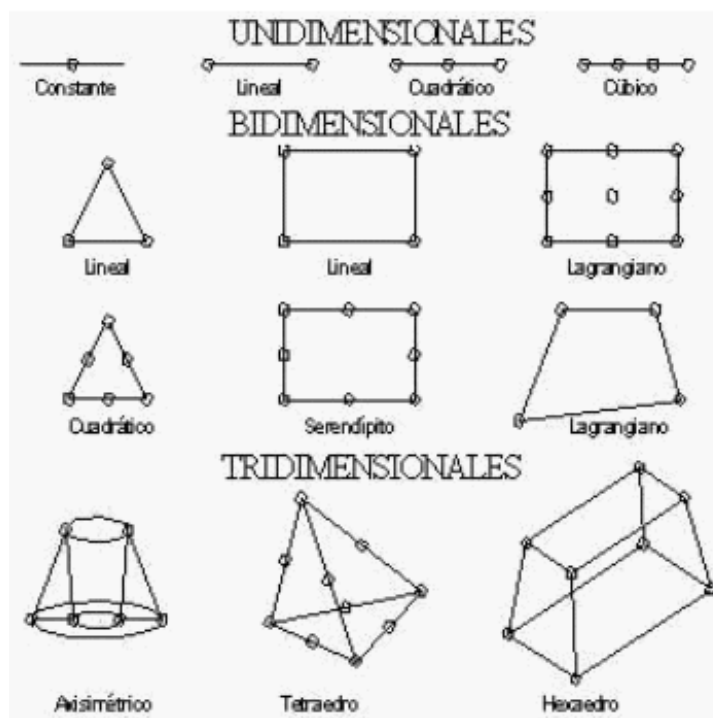
Para poner en práctica el MEF en los programas de ingeniería asistida (CAE) se requiere de 3 etapas básicas:

Etapa de pre-proceso; ésta incluye:

*Creación de la geometría del modelo*, lo cual, debe representar lo más fielmente al modelo físico real en estudio, obligando a la herramienta informática en uso a presentar facilidad de generación de geometrías complejas tales como partes curvas del casco, en general todo parte de la base de generar una serie de puntos (nodos) que componen el modelo, definido en un sistema de coordenadas ya establecido, para posteriormente generar superficies y luego sólidos,

*Selección de las características mecánicas del material*: en esta etapa son asignados las propiedades de material tales como módulo de elasticidad, resistencias máximas, coeficiente de Poisson,...

*Selección del tipo de elemento finito*: generalmente en las librerías de software se encuentran una gran variedad de elementos uni-, bi- y tridimensionales según el tipo de geometría que estemos analizando.



**Figura 31. Tipos de elementos finitos**

*Solución*: Se asigna el tipo de análisis aplicado a la estructura, las condiciones de contorno del modelo, las cargas aplicadas, y por último se procede a resolver los sistemas de ecuaciones resultantes de la etapa anterior. En el caso de las condiciones de contorno, éstas son restricciones de desplazamientos y rotaciones que se aplican a la matriz de rigidez completa resultante, la cual relaciona las cargas aplicadas al sólido elástico con los desplazamientos

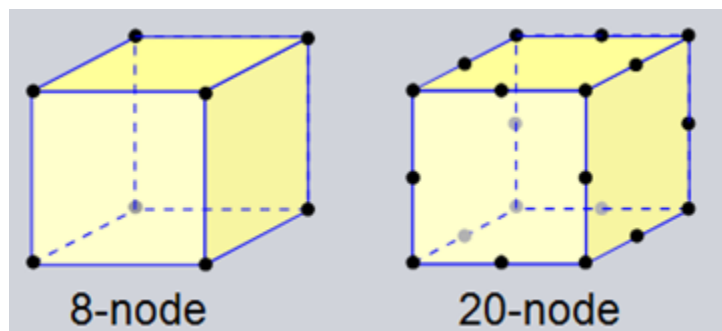
### 1.5.5 Desarrollo del MEF en NX Nastran

En los siguientes apartados se mostrará la metodología usada para la realización de las simulaciones mediante NX Nastran en una interfaz Unigraphics.

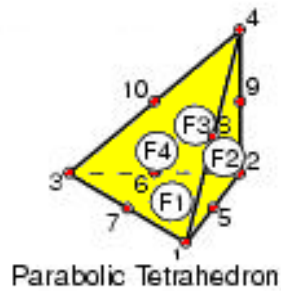
#### 1.5.5.1 Mallado en NX Nastran:

Generalmente los tipos básicos de elementos 3D empleados habitualmente para el MEF computacional de ensayos mecánicos son los elementos hexaédricos (CHEXA), los elementos tetraédricos (CTETRA) y los elementos prisma triangulares (CPENTA).

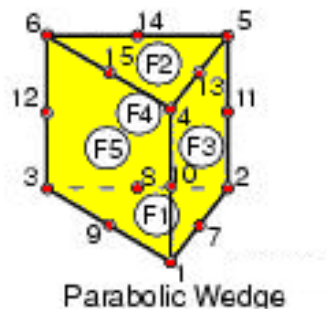
**(CHEXA):** Elemento sólido hexaédrico de 8-20 nodos más general del Solver NX Nastran, recomendado para uso general, con excelentes prestaciones. La precisión se degrada cuando el elemento está afilado y deformado (*Skewed*), o tiene mala relación de aspecto (*Aspect Ratio*), o cuando se usa CHEXA de 8-nodos en modelos donde la flexión es dominante. En este caso la precisión aumenta mallando con elementos CHEXA de alto orden (20-nodos) con nodos intermedios. Pero en la mayoría de los casos, las prestaciones de los elementos sólidos hexaédricos (se les conoce como “Brick” o “Hex”) es muy superior al resto de los elementos 3-D (Wedges o Tetras). El problema es que mallar con elementos sólidos hexaédricos requiere subdividir la geometría en piezas más pequeñas donde el mallado sea posible.



**(CTETRA):** Elemento sólido tetraédrico de 4-10 nodos y tres grados de libertad de translación por nodo (los sólidos no tienen GdL de rotación). Originalmente el elemento de deformación lineal CTETRA se utilizaba para mallar localmente geometrías y agujeros con formas complicadas de modelos sólidos mallados con elementos CHEXA y CPENTA. Pero en la actualidad los elementos tetraédricos se utilizan frecuentemente para mallar volúmenes y modelos sólidos completamente. El elemento tetraedro de 10-nodos (alto orden) es el preferido frente al de 4-nodos ya que el elemento lineal de 4-nodos tiende a ser excesivamente rígido. El mallado con tetraedros se utiliza habitualmente para mallar sólidos de geometría compleja ya que los algoritmos de mallado sólido con tetraedros son muy rápidos y eficientes.




(CPENTA): Elemento sólido prisma triangular de 6-15 nodos que se utiliza habitualmente como elemento de transición de sólidos a Shells, o en áreas donde se ha utilizado el triángulo para mallar superficies. El elemento está diseñado para trabajar bien como un elemento Shell razonablemente fino. Habitualmente se les denomina “Wedges”.



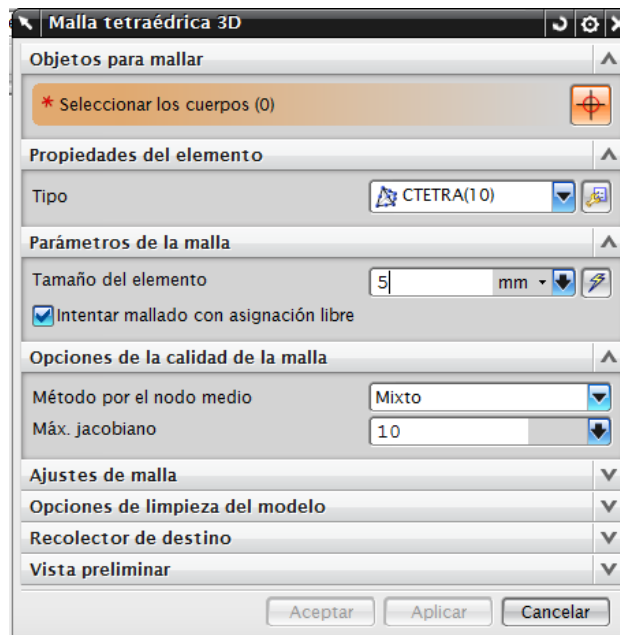
Como se ha mencionado la mayor calidad de resultados se consigue mediante un mallado hexaédrico pero dado que las geometrías que vamos a analizar complican la generación de este tipo de malla mallaremos los componentes mediante elementos tetraédricos de 10 nodos (CTETRA10). Podemos acceder a ellas desde el menú Insertar > Malla > Mallado tetraedral 3D o simplemente desde el icono de acceso directo de la interfaz



.Mediante el botón  podemos asignar un tamaño adecuado de malla automáticamente según el volumen del componente a simular por lo que el cálculo del tamaño ideal del elemento es realizado por la computadora.

Las opciones situadas en la parte inferior del menú de malla como *ajustes de malla* y *opciones de limpieza del modelo* limitan los elementos que componen la malla a una tolerancia máxima de la figura pequeña en % en relación a la figura grande y también limitan la variación del tamaño del elemento finito dependiendo de la curvatura de la superficie. Estas opciones describen las restricciones geométricas que aplicamos a la malla.





**Figura 32. Menú de mallado en Nx Nastran**

#### *1.5.5.2 Condiciones de contorno en Unigraphics/NX Nastran*

Para definir correctamente el modelo CAE se deberán definir las propiedades de contacto entre las piezas, las restricciones de movimiento del volumen finito y la definición de las cargas.

##### *1.5.5.2 .1 Restricciones de movimiento:*

Las restricciones aplicadas sobre la geometría definirá parte de la rigidez final del sistema dependiendo de dónde se bloqueen o se habiliten los movimientos de translación o rotación. Las restricciones en Unigraphics/NX Nastran se clasifican en:



: Restricción definida por el usuario: aplica una restricción de valor de desplazamiento configurado, fijo o libre en cualquiera de los 6 grados de libertad individuales



: Restricción de desplazamiento forzado: aplica una restricción de valor de desplazamiento forzado en cualquiera de los 6 grados de libertad individuales



Restricción fija: aplica una constante donde los seis grados de libertad son fijos.



Restricción de la translación fija: aplica una restricción donde todos los grados de libertad de translación están fijos pero todos los de rotación están libres.



Restricción de la rotación fija: aplica una restricción donde todos los grados de libertad de rotación están fijos pero todos los de translación están libres.



Restricción compatible en forma simple: aplica una restricción donde la translación en el eje Z es libre mientras que los 5 grados de libertad son libres.



Restricción de apuntalado: aplica una restricción donde la dirección Z del sistema de coordenadas cilíndricas es libre pero los 5 grados de libertad son fijos.



Restricción cilíndrica: aplica una restricción de desplazamiento configurado, fijo o libre a cualquier incremento (R) radial de las direcciones cilíndricas, rotación axial e incremento axial (Z).



Restricción del mando deslizante: aplica una restricción donde el eje X de translación está libre mientras que los 5 grados de libertad están fijos.



Restricción del rodillo: aplica una restricción donde los grados de libertad de rotación correspondientes al eje del rodillo son libres pero los demás grados de libertad están fijos.



Restricción simétrica: aplica una restricción simétrica a una cara plana que se puede utilizar cuando una pieza es simétrica y tiene condiciones de carga y soportes simétricos.



Restricción anti-simétrica: aplica una restricción anti-simétrica a una cara plana que se puede utilizar cuando una pieza es simétrica y contiene un soporte anti-simétrico y condiciones de carga con signos inversos



Acoplamiento manual /automático: aplica un acoplamiento manual/automático al modelo

#### 1.5.5.2 .2 Cargas:



Carga de fuerza: aplica una carga de fuerza



Par de torsión: aplica una carga de torsión al eje normal de un cilindro.



Momento: aplica una carga de momento



Gravedad: aplica una carga de aceleración translacional a un modelo completo pudiendo describir en el modelo el efecto de su propio peso.



Rodamientos: aplica una carga sobre rodamiento radial para simular las condiciones de carga tales como cojinetes a rodillo, engranajes, ruedas, levas y ruedas de rodamiento



Par de torsión: aplica una carga de torsión al eje normal de un cilindro



Presión: aplica una carga de presión.



Presión nodal: aplica una carga de presión en los nodos.



Presión hidrostática: aplica una carga de presión hidrostática para simular la presión en un líquido estático en cada profundidad.

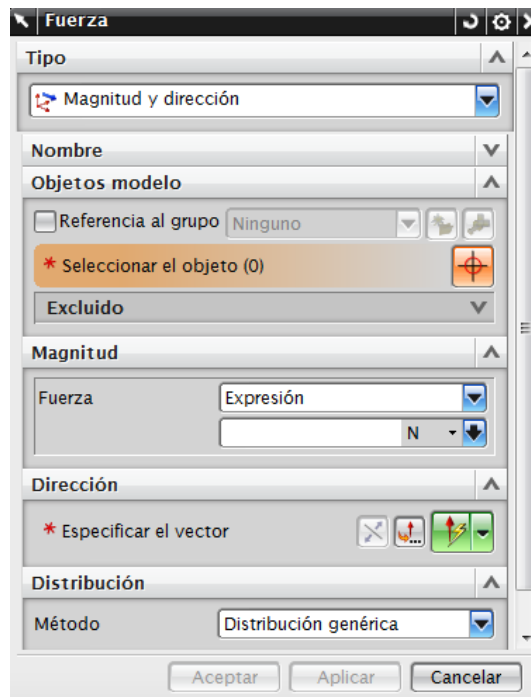


Presión centrífuga: aplica una presión centrífuga variante en forma radial sobre un recipiente giratorio



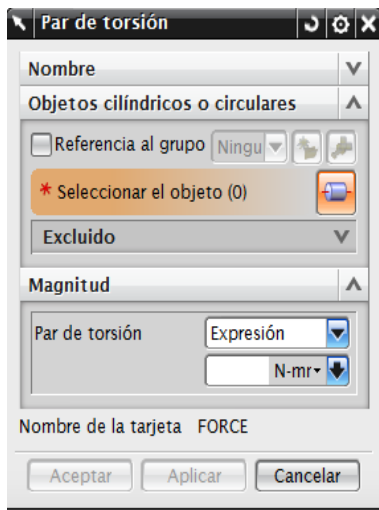
Centrífugo: Aplica una carga centrífuga (que se genera al rotar una pieza sobre el eje) al modelo completo

Las cargas empleadas únicamente serán las fuerzas, gravedad y par de torsión.

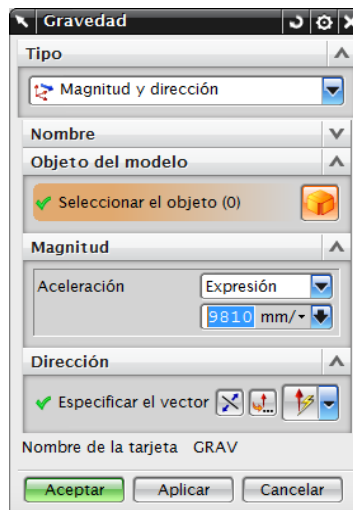


**Figura 33.**Menú de fuerza en NX Nastran

Definiremos la carga describiendo el objeto modelo donde va a ser aplicada la carga, magnitud y dirección del vector y el tipo de distribución espacial en las caras que se ha aplicado la fuerza.

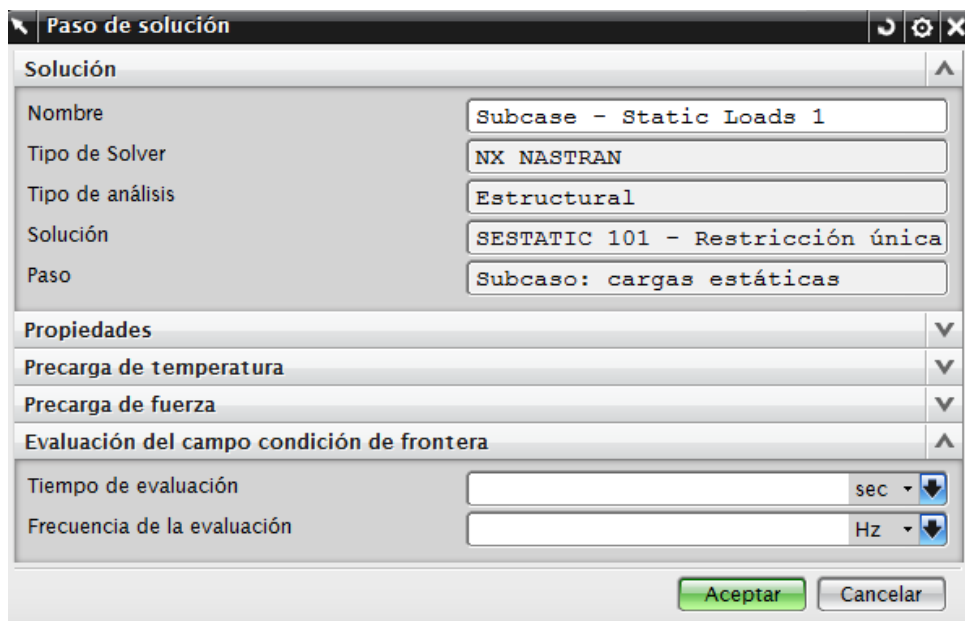


**Carga de torsión en NX Nastran**



**carga de gravedad en NX Nastran**

Debemos tener en cuenta que en los análisis de fatiga serán exigidos unos requisitos de carga tales como el tiempo de aplicación de la carga y la frecuencia de aplicación de ésta a diferencia de los análisis estáticos normales con cargas constantes en el tiempo por lo que debemos ir al menu de edición de la carga e introducir la frecuencia y el tiempo de aplicación de la carga según dicte el ensayo.



**Figura 34. Edición del subcaso estático**

### 1.5.5.2 .3 Objetos de modelado:

Por último nos quedan describir los objetos de modelado, el cual, definen las temperaturas iniciales y el contacto entre piezas. En cuanto al contacto entre piezas que existe entre los diferentes componentes que forman el ensamble para los ensayos, no se ha definido ningún parámetro respecto a sus características tales como fricciones estáticas, penetraciones máximas,... dado el desconocimiento de los mismos por lo que las piezas permanecerán simplemente adheridas entre las superficies coincidentes. A efectos prácticas las piezas estarían “encoladas” como si estuvieran enganchadas con pegamento. Por ello podemos suponer un pequeño margen de error en los resultados al subestimar este contacto entre piezas. No obstante si el margen de seguridad es mínimamente razonable en los resultados obtenidos podemos considerar por satisfactorios los ensayos. Emplearemos por ello la herramienta *adherencia superficie con superficie* para definir el contacto entre piezas.

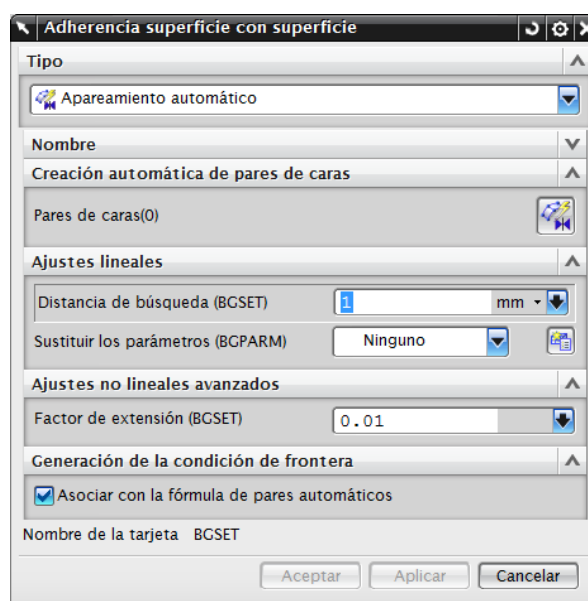
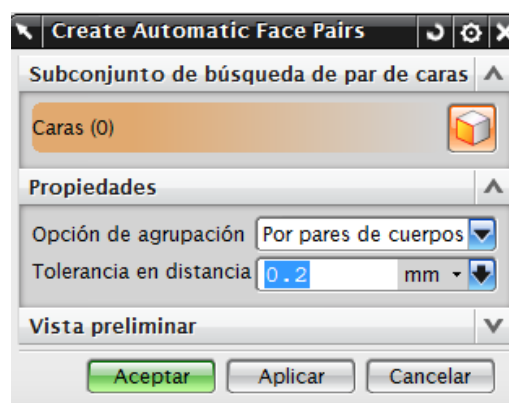


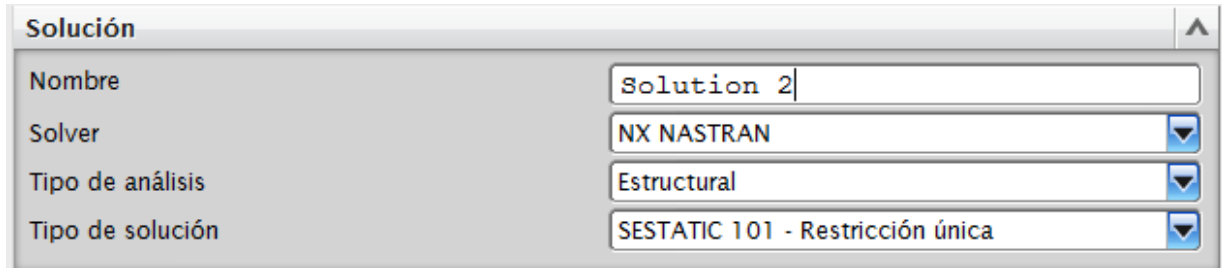
Figura 35. Adherencia superficie-superficie.

Únicamente seleccionaremos los pares de caras para la adherencia entre ellas y el software automáticamente definirá el contacto.



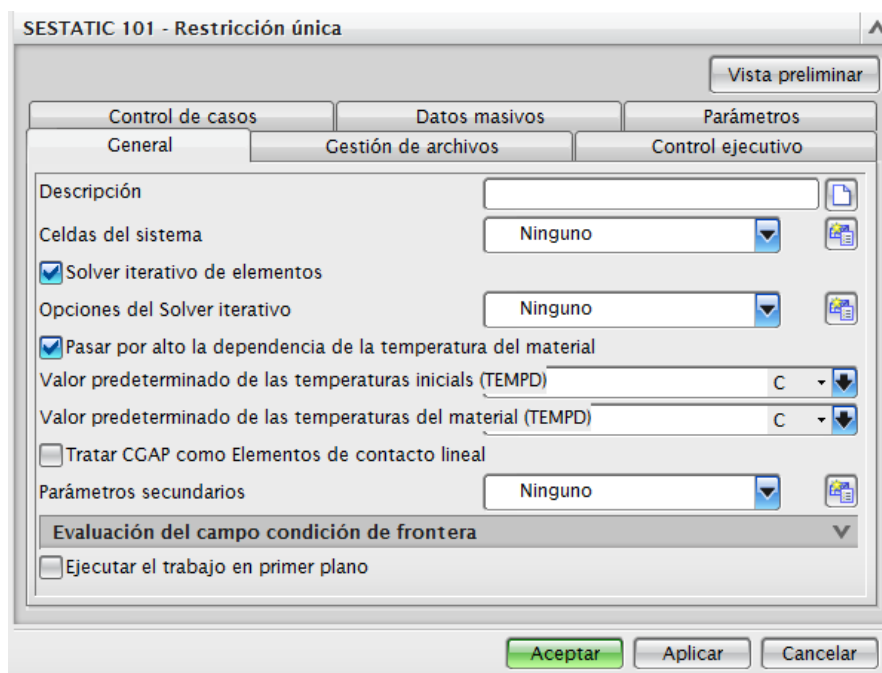
### 1.5.5.3 Análisis estáticos en NX Nastran:

El tipo de análisis será estructural y el tipo de solución será estática nombrada **SESTATIC 101** (análisis estático lineal y con restricción única).



Solución	
Nombre	Solution 2
Solver	NX NASTRAN
Tipo de análisis	Estructural
Tipo de solución	SESTATIC 101 - Restricción única

En cuanto a las propiedades de la solución estática debemos resaltar dos opciones activadas para el ensayo; una de ellas es el *Solver iterativo de elementos* el cual aporta unos resultados más exactos cuando la solución está compuesta básicamente por sólidos volúmetricos mallados con elementos finitos 3D ya que genera por defecto iteraciones en los demás puntos del espacio del elemento finito aproximando en mayor medida los resultados a la realidad. En todos los análisis realizados no se generará ninguna dependencia de las propiedades mecánicas del material con la temperatura por lo que podemos suponer que las temperaturas ambientales para la realización de los ensayos se mantendrán a 20°C sin modificar las propiedades mecánicas del material el cual están tabuladas para una temperatura ambiental típica media, es decir, 20 °C.



SESTATIC 101 - Restricción única	
Vista preliminar	
Control de casos    Datos masivos    Parámetros	
General    Gestión de archivos    Control ejecutivo	
Descripción	
Celdas del sistema	Ninguno
<input checked="" type="checkbox"/> Solver iterativo de elementos	
Opciones del Solver iterativo	Ninguno
<input checked="" type="checkbox"/> Pasar por alto la dependencia de la temperatura del material	
Valor predeterminado de las temperaturas iniciales (TEMPD)	C
Valor predeterminado de las temperaturas del material (TEMPD)	C
<input type="checkbox"/> Tratar CGAP como Elementos de contacto lineal	
Parámetros secundarios	Ninguno
Evaluación del campo condición de frontera	
<input type="checkbox"/> Ejecutar el trabajo en primer plano	
Aceptar    Aplicar    Cancelar	

Figura 36. Menú de edición de solución estática (SESTATIC101)

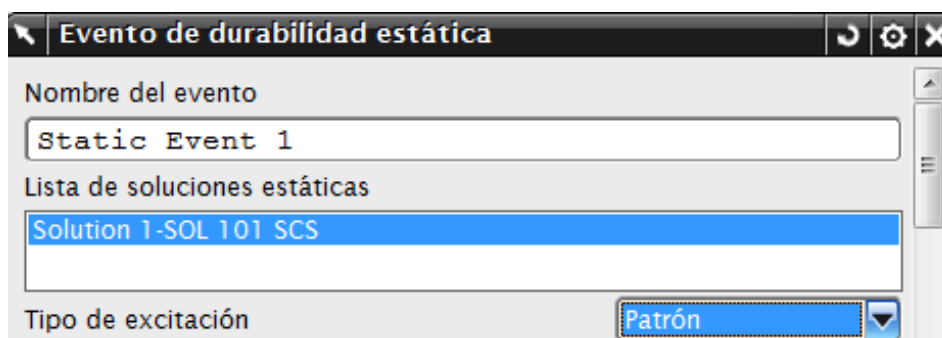
#### 1.5.5.4 Análisis de fatiga en Unigraphics/NX Nastran

Previo al desarrollo computacional de los ensayos de fatiga realizaremos una introducción referente a los conceptos de fatiga y la estimación de sus valores para comprender correctamente los parámetros del software durante los ensayos.

#### 1.5.5.5 Desarrollo de análisis de fatiga en NX Nastran:

La realización de un análisis de fatiga/durabilidad se basa en unos antecedentes, en nuestro caso estáticos, es decir, a partir de los resultados de tensiones y deformaciones obtenidas en el análisis estático el Solver calculará los ciclos soportables hasta la falla de la pieza. El solver se basará en la resistencia a la tensión y deformación para predecir la vida de la pieza.

La amplitud de tensiones y deformaciones determinará la vida a fatiga del sistema. Al crear el evento de durabilidad/fatiga aparecen la lista de las soluciones estáticas previas:



Seleccionada la solución estática para el análisis de fatiga debemos definir el tipo de excitación de la carga aplicada.

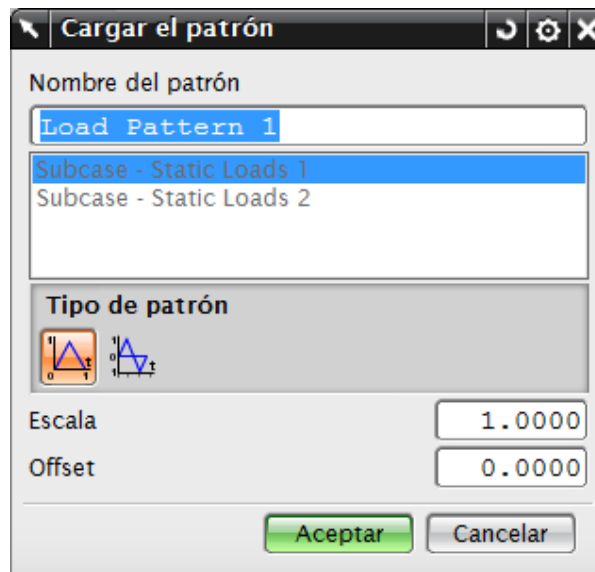


ciclo de *semiunidad* :la excitación se define mediante ciclos intermitentes en el que su valor pasa de 0 a su valor nominal y vuelve a 0 en un ciclo



*ciclo de la unidad*: se empleará para los casos en los que se requiera fuerzas opuestas en cada ciclo.

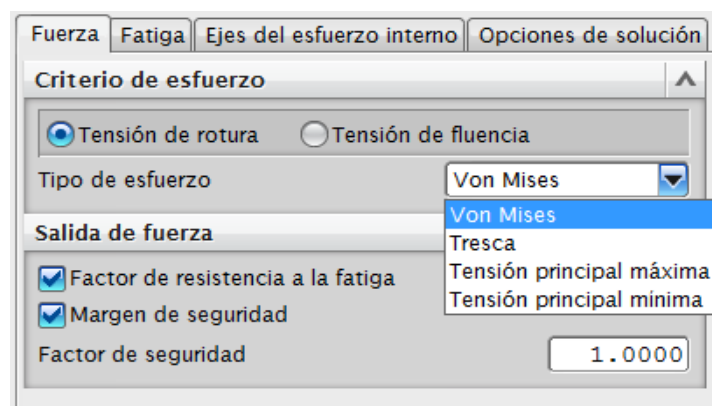
Tenemos la opción de realizar una escala a la carga estática por su queremos aumentarla a proporción además de un offset para los casos en los que haya varias cargas estáticas en el ensayo y puedan ser utilizadas sin estar sincronizadas.



#### 1.5.5.6 Resultados obtenidos en los ensayos de durabilidad en NX Nastran:

##### 1.5.5.6.1 Resistencia estructural- Factor de seguridad a tensión

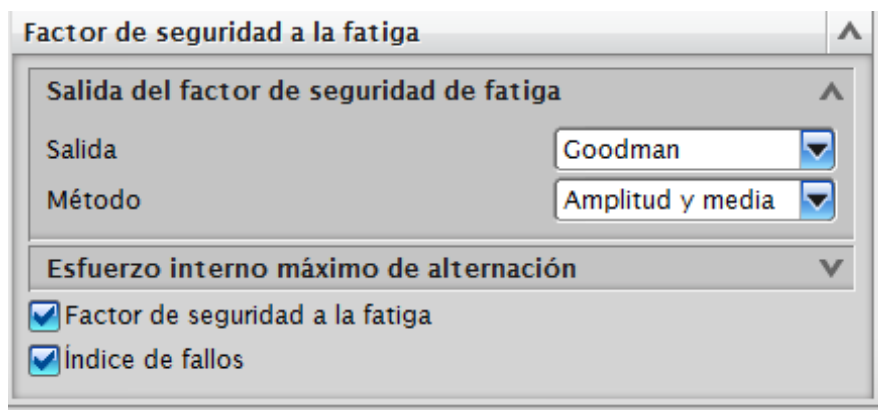
El factor de seguridad a tensión (SSF: Stress Safety Factor) es una media de la resistencia global de la estructura y se evalúa dividiendo el criterio de tensión por la tensión efectiva (por ejemplo, Von Mises, Tresca o la tensión principal máxima/mínima). El programa calcula el SSF como una función de la historia de la tensión efectiva (Von Mises, Tresca o componentes máximas o mínimas de la tensión principal) para determinar el factor de fallo de la estructura. Los valores por encima de 1.0 son aceptables, mientras que valores por debajo de 1.0 indican fallo (plastificación). Como criterio de esfuerzo seleccionaremos la tensión de rotura y las tensiones efectivas para el cálculo de la vida a fatiga serán las de Von Mises.



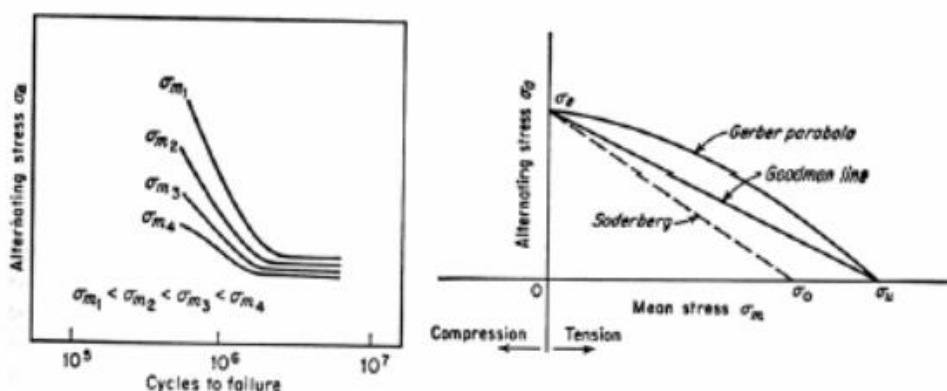


#### 1.5.5.6.1 Resistencia a fatiga I- Factor de seguridad a fatiga

El factor de seguridad a fatiga (FSF) predice si la estructura fallará debido a cargas cíclicas. El FSF se calcula primero identificando todos los ciclos de carga (tensiones medias y tensiones variables) y seguidamente mediante el Diagrama de Goodman se obtienen los ciclos más desfavorables. Éste proporciona una estimación más conservadora del FSF, lo que significa que utilizando Goodman se tiende a sobredimensionar el diseño. El criterio de Goodman utiliza dos propiedades del material: la tensión última y la tensión máxima alterna o tensión variable.



En nuestro caso podemos subestimar este valor dado que las tensiones y deformaciones medias son con ciclos constantes y bien definidos por lo que no necesitamos conocer el impacto de las tensiones no nulas en nuestro caso. Los efectos de las tensiones medias pueden representarse en diagramas de vida constante. Las diferentes combinaciones de tensiones y amplitudes medias se representan para una vida constante dada.



**Influencia de la tensión media sobre la vida a fatiga**

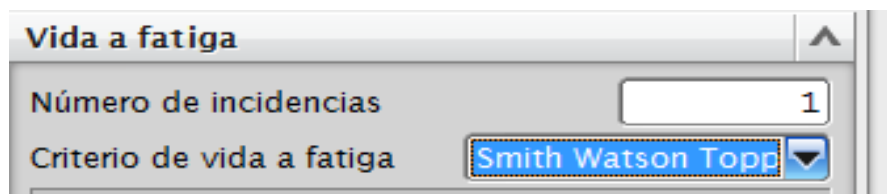
#### 1.5.5.6.3 Vida a fatiga:

El resultado de vida a fatiga evalúa la vida de la estructura calculando la inversa del daño. La inversa del daño total es el n° de ciclos de carga de servicio antes de que se inicia ninguna grieta o fallo en la estructura, con lo cual este valor puede usarse para determinar la vida de la estructura.

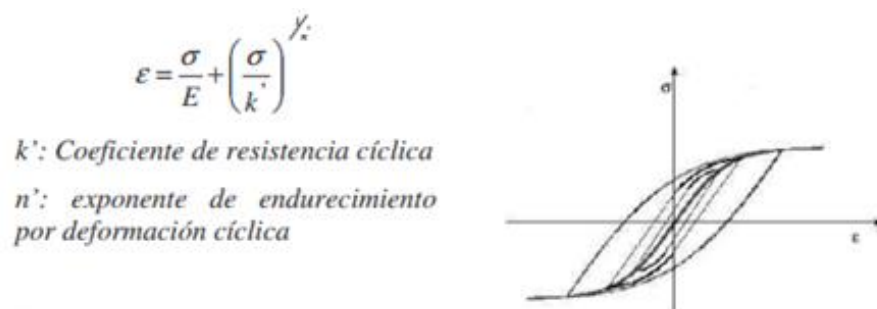
Los criterios de vida a fatiga son los siguientes:

- Smith-Watson-Topper
- Deformación-Vida (tensión principal máxima)
- Deformación-Vida (tensión cortante máxima)
- Tensión-Vida

Como criterio de vida a fatiga emplearemos el método Smith-Watson-Topper por lo que tendremos en cuenta la amplitud de tensiones y deformaciones para el cálculo de vida fatiga. Emplearemos las tensiones equivalentes de Goodman. Éste último carece de importancia dado que en todos los ensayos de fatiga que se realizarán son cargas cíclicas no transitorias por lo que las tensiones medias y amplitudes son constantes y no es necesario hacer un cálculo de tensiones equivalentes.

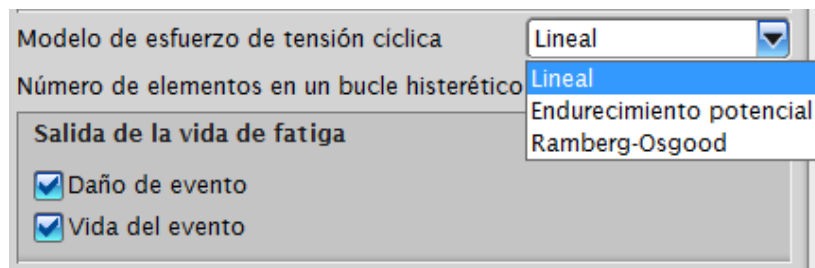


A veces ocurre que según el tipo de material, ocurre que ante cargas cíclicas (controlando la deformación se produce bien un endurecimiento o bien un ablandamiento durante un período inicial, hasta que se llega a la estabilización. Esto se puede reflejar mediante curvas de comportamiento que adoptan esta forma:



**Figura 40. Obtención de la curva tensión-deformación para un material con endurecimiento cíclico**

En la siguiente figura se muestran los tipos de comportamiento del material ante la carga cíclica. Supondremos un comportamiento lineal del metal.



## 1.6 Diseño del nuevo modelo

El nuevo modelo de bicicleta que queremos realizar consiste en una versión mejorada del modelo actual de bicicleta del que dispone el servicio de bicicletas públicas del “Bicing”. Por lo tanto, la tendencia a seguir en la creación del nuevo diseño debe satisfacer las necesidades que se exigen en las denominadas bicicletas de paseo destinadas básicamente a un uso urbano. Por ello, en los siguientes apartados se mostrarán los criterios elegidos tanto geométricos como dimensionales con tal de cumplir las prestaciones y características básicas de la conducción urbana, la cual, podemos definir como una conducción contraria a la deportiva en la que prevalece el confort, ergonomía y durabilidad ante la maniobrabilidad, agilidad y ligereza

Las prioridades básicas para el nuevo diseño son:

- Duradero; dado que es un servicio público en el que un gran número de abonados al servicio emplearán una misma bicicleta para realizar cortos trayectos en la zona urbana debemos diseñar un modelo duradero capaz de soportar cargas repetitivas el mayor tiempo posible. Esto implicará la elección de un material resistente y duradero a fatiga y un diseño eficiente que evite en la medida de lo posible tensiones elevadas.
- Económico; pretendemos diseñar un modelo más económico que el anterior por lo que intentaremos reducir en la medida de lo posible el coste del nuevo conjunto estructural de la bicicleta. Esto implicará reducir el peso del nuevo cuadro y las posibles soldaduras de éste ya que las soldaduras encarecen el gran porcentaje el precio final del cuadro.
- Ergonómico; Cuando hablamos de ergonomía, nos referimos a que debemos asignar una geometría al conjunto del cuadro-horquilla que potencie la comodidad del conductor. Potenciar la comodidad de una bicicleta significa disminuir la maniobrabilidad o agilidad de ésta. Aun así para el ciclismo urbano, supuestamente tranquilo y relajado, no se requiere condiciones “deportivas” de la bicicleta por lo que asignaremos al cuadro y la horquilla las características geométricas que aumenten el confort y la ergonomía

### 1.6.1 Diseño del cuadro y sistema de dirección

Se diseñará básicamente el sistema estructural de la bicicleta, el “chasis” de ésta formado por el Cuadro-Horquilla-Potencia-Manillar-Rodamientos. En el caso de los rodamientos se generará una geometría aproximada de éstos simplemente para aproximar los modelos finitos a la realidad. Las ruedas también

formarían parte del sistema estructural pero serán excluidas en este caso para simplificar el ensamble final. Únicamente asignaremos al modelo unas ruedas normalizadas con sus medidas correspondientes. También se mostrará el criterio elegido para la elección de los demás componentes de la bicicleta.

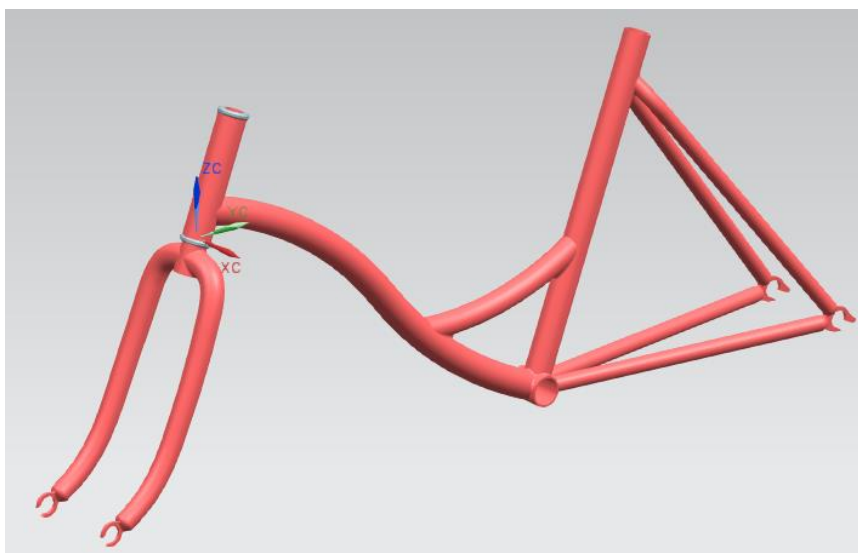
#### 1.6.1.1 Criterios geométricos:

La siguiente tabla muestra la tendencia que se va a seguir para la creación de los nuevos conjuntos en cuanto a la geometría se refiere. La distribución geométrica de los nuevos componentes intentará satisfacer la creación de un modelo ergonómico para el ciclista. Por lo tanto dispondremos de ángulos y distancias entre los ejes de los tubos de manera que se satisfagan la confortabilidad y ergonomía del ciclista en detrimento de la maniobrabilidad y agilidad del modelo.

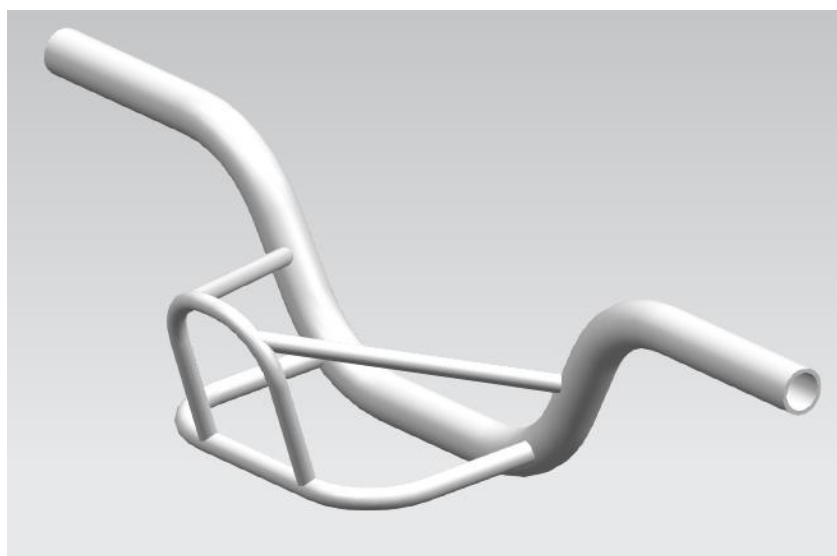
Angulo de sillín	Plano (70°) para corresponder a una posición relajada echada hacia atrás del ciclista)
Ángulo de dirección	Plano (69°) para conseguir estabilidad de la bicicleta y no muy distinto del ángulo del sillín para corresponder con el tipo de pedaleada
Avance	Largo > 6 cm.
Distancia entre ejes	≈1050mm
Distancia entre ejes traseros	Corta (390-410). Si bien es cierto que una distancia larga entre ejes traseros consigue una conducción más cómoda cuanto menor sea esta distancia menores las pérdidas de potencia en la pedalada son menores con lo que en este caso priorizamos la “deportividad”.
Distancia entre ejes delanteros	Evitar ante todo el contacto entre rueda y pedal al girar.
Longitud del tubo del sillín	Asignaremos una talla de sillín equivalente a la altura media habitual de un ciclista dado que la bicicleta a diseñar es pública y destinada ser usada por multitud de usuarios.
Altura del pedalier	Se asignará una altura en la que sea imposible el choque de los pedales con el suelo. No será necesario un margen de distancia de seguridad dado que la bicicleta es usada en carreteras generalmente lisas y sin baches o piedras,..
Longitud de potencia	Larga ( > 12cm )

Ángulo de potencia	> de 5°
--------------------	---------

#### 1.6.1.2 Modelado CAD de los componentes:



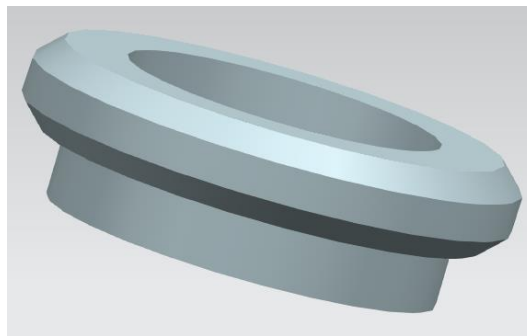
**Figura 49. CAD conjunto cuadro-horquilla**



**Figura 50. CAD manillar**



**Figura 51. CAD potencia**



**Figura 52. CAD rodamientos**

Se ha optado por un tipo de potencias de la serie HSM 1604 con soldaduras en la tija en la unión de la unión con el manillar y el tubo elíptico. En cuanto a los rodamiento se ha generado una geometría aproximada dada la complejidad que supondría modelar todos los elementos de los rodamientos con tal de aproximar el modelo CAE a la realidad durante el ensamblado de la horquilla con el cuadro.

#### 1.6.2 Elección de componentes

Como se ha mencionado anteriormente se asignarán los componentes de los distintos sistemas de la bicicleta urbana diseñada intentando cumplir los requisitos de coste los cuales han de ser los más bajos posibles. Para la elección se tendrá en cuenta los componentes habitualmente empleados en ciclismo urbano y los antecedentes del modelo actual, el cual intentaremos asignar componentes de valor y prestaciones parecidas al actual.

### *1.6.2.1 Frenos:*

Existen en el mercado multitud de frenos como los frenos “Cantilever”, frenos de disco, frenos V-brake, frenos de tambor, de contra-pedal o los frenos recientemente empleados como los frenos tipo Roller. De todos ellos, los empleados habitualmente para las bicicletas urbanas son los de freno de llanta como los frenos V-brake y los frenos de buje como los frenos de tambor o contra-pedal. Los frenos de disco no suelen emplearse para bicicletas urbanas ya que sus altas prestaciones implican una conducción deportiva y junto a su alto coste resultan inadecuados.

#### *1.6.2.1.1 Frenos V-brake:*

Los frenos V-brake (frenos en V) son los más empleados para las bicicletas urbanas. Su nombre viene dado por la forma que de las palancas que llevan las pastillas y las presionan contra el aro de la llanta. Tienen una fuerza de frenada inferior a los frenos de disco pero totalmente razonable para la conducción urbana. Es un freno de llanta, lo cual la frenada se realiza por la fricción entre las pastillas de goma y llanta con lo depende de la superficie de la llanta y cualquier que ladee la llanta afectará negativamente. Por ello no son empleados para las bicicletas de montaña. Suponiendo una conducción tranquila en ciudad no debería preocuparnos la deformación de la llanta. Su mantenimiento y ajuste es sencillo y barato. Se limita a tensar el cable medida que se van desgastando las zapatas y cambiar las zapatas una vez estén desgastadas. Ofrecen un buen compromiso entre precio, mantenimiento y buena frenada por ello son tan empleados.



**Frenos V-brake tradicionales**

#### *1.6.2.1.2 Frenos de tambor:*

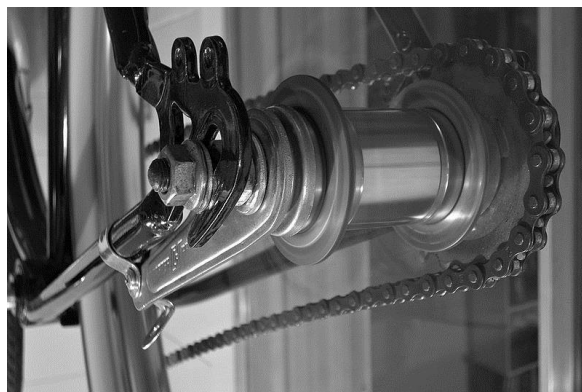
Éstos consisten en un cilindro hueco que gira solidario con el buje y unas zapatas que están dentro de él. El frenado se consigue al rozar las zapatas con el interior del cilindro. Es una tecnología bastante simple y su mantenimiento es caso nulo. Únicamente será necesario tensar el cable de freno sin más herramientas que los dedos cuando las zapatas del tambor se hayan gastado mucho. En las bicicletas urbanas se usa habitualmente en las ruedas delanteras habitualmente junto con una dinamo en el buje delantero.



**Freno de tambor tradicional**

#### *1.6.2.1.3 Frenos contra-pedal:*

El freno contra-pedal existe desde 1903 y es muy empleado en los países nórdicos, sobretodo en Holanda. Conceptualmente es un freno de tambor pero éste no tiene nada que ver en como frenamos habitualmente una bicicleta. Está ubicado siempre en la rueda trasera dado que sólo tiene sentido ahí. No existen manetas de frenado ni cables con lo que nos ahorramos ese mantenimiento; la frenada se realiza pedaleando en sentido contrario al movimiento. Es un freno muy cómodo para reducir gradualmente la velocidad, (en cruces, semáforos, bajadas, ..) no requiere mantenimiento durante años, frena bastante bien y no afecta el agua de lluvia a su funcionamiento. Por el contrario una vez parado no se pueden retroceder los pedales hasta la posición deseada para arrancar. Otro de sus inconvenientes es la pérdida total de funcionamiento al salirse o romperse la cadena y la pérdida también de frenada al calentarse en exceso durante largas bajadas. Son frenos exclusivos para bicicletas urbanas y como en los frenos de tambor en las bicicletas urbanas suele ir acoplado junto con el cambio de marchas interno en el buje trasero.



**Freno contra-pedal**

#### *1.6.2.1.4 Frenos Roller:*

Los frenos tipo Roller han aparecido recientemente en el mercado y destacan porque no tienen desgaste alguno. Su potencia de frenado es inferior a los V-brake. Para pendientes largas, velocidades altas o personas pesadas no son recomendables por lo que su uso también está limitado a ciclismo urbano. El disco



que se ha mostrado en la siguiente figura actúa como refrigerador, totalmente necesario dado que este tipo de frenos pierde fuerza al calentarse, en casos extremos hasta su totalidad.



**Frenos tipo Roller**

Los frenos V-brake aportan un equilibrio perfecto entre sencillez, peso, costes y eficiencia ya que para un uso tranquilo, a no ser que circules en una ciudad de mucho desnivel, lluvia o barro, (no es el caso de Barcelona) estos frenos son más que suficientes por lo que nos decantaremos por unos frenos V-brake en el eje delantero. Es un sistema robusto, fácil de ajustar y mantener que ofrece un resultado muy satisfactorio con llantas y radios de calidad. Actualmente el “Bicing” actual monta unos frenos delanteros V-brake marca *Tektro modelo 834AS* por lo que intentaremos emplear unos frenos de menor coste a poder ser y prestaciones parecidas. Nos hemos decantado por los frenos *V-brake Avid-Single Digit 5*.



**Frenos V-brake Avid-Single Digit 5**



**Tektro modelo 834AS**

Los frenos V-brake Avid-Single Digit 5 ofrecen un diseño elegante y clásico de color plata/negro de acero inoxidable., con unas zapatas de 20-R recambiables y ajustables mediante tornillo. Incorpora un muelle sobredimensionado y tienen un peso de 185g. Frenos V-brake de iniciación, económicos y compuestos de acero inoxidable. Éste tiene un coste de 14.95e mientras que el Tektro modelo 834AS cuesta 18.95e.

En cuanto a la rueda trasera, el modelo actual ha optado por un freno de tambor alojado junto al buje con el cambio interno en el eje trasero. Los frenos de tambor resultan más pesados que los frenos V-brake i dado que la eficiencia es mayor y al diferencia de precio es escasa montaremos los mismos frenos V-brake en el eje trasero Avid-Single Digit 5

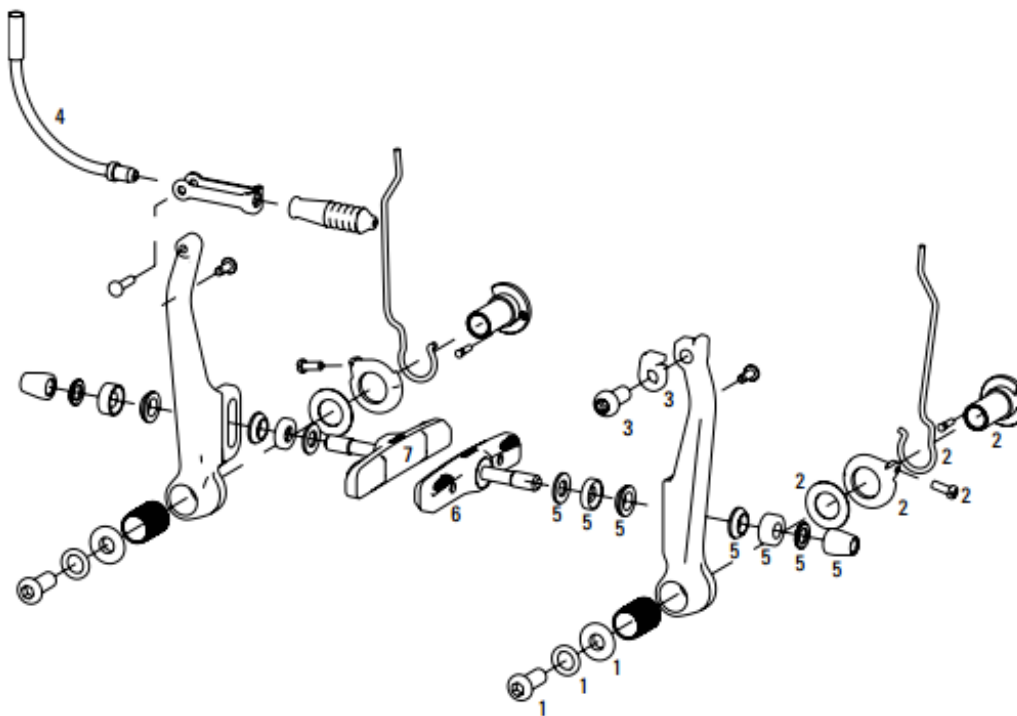


Figura 53. Despiece Avid-Single Digit 5



Figura 54. Maneta de freno FR-5 (para Avid Single Digit 5):

### 1.6.2.2 . Cambios:

En el mercado existen diferentes sistemas de cambios de marchas para bicicletas de diversos fabricantes y distintas calidades o características técnicas. El tipo de cambio de marchas que vamos a utilizar dependerá de la función y uso a desempeñar de la bicicleta. Si nuestra intención es utilizar la bicicleta en zonas con desniveles suaves no será necesario que nuestro cambio tenga un ratio muy amplio, en cambio si la vamos a utilizar en zonas de desniveles bruscos, cuanto más ratio mejor. Por ratio entendemos como la diferencia de desarrollo entre la marcha más larga y la marcha más corta. Se suele calcular en %.

Dado que buscamos un cambio de marchas para circular por una ciudad como Barcelona con poco desnivel exceptuando la zona alta montañosa de Barcelona no necesitamos grandes ratios por ello en general los cambios de marchas para ciclismo urbano suelen tener pocas velocidades. Los cambios de marchas más empleados para bicicletas urbanas son los siguientes:

#### 1.6.2.2.1 Cambios de marchas externo:

Los cambios de marchas externos son los más corrientes. Son fácilmente reconocibles dado que tienen al descubierto el sistema de platos y piñones. Son ideales para bicicletas de montaña, carretera y ciclo-turismo debido a su alto ratio que alcanza los 618% en 27 velocidades. Los cambios externos permiten combinar con diferentes medidas de platos en las bielas lo cual permite adaptar nuestra cadencia a una gran variedad de desniveles. En la siguiente figura se muestra el sistema típico de un cambio de marchas externo.



**Figura 55. Cambio externo tradicional con varios piñones**

#### 1.6.2.2.2 Cambios internos:

Éstos están situados dentro del buje trasero dejando al descubierto sólo un piñón para el arrastre de la cadena. Dentro del buje hay una serie de engranajes que hacen que el movimiento de entrada del piñón multiplique o desmultiplique la velocidad de la rueda, aumentar o disminuir la relación de velocidad entre el piñón y la rueda. Suelen tener pocas marchas, de 2 a 8 velocidades por lo está limitado su uso a zonas con pendientes considerables. Existen también modelos con 14 velocidades pero su precio es excesivamente caro. Su ratio va desde 190% en 3 velocidades, equivalente a un cambio externo de 6 velocidades hasta los

307% en 8 velocidades. Los cambios internos de 14 velocidades llegan a alcanzar los 526% equivalentes al ratio de un cambio externo de 21 velocidades. La diferencia ésta en que con los cambios externos podemos ajustar mejor nuestra cadencia de pedaleo y se consigue una mayor progresividad lo cual genera una conducción más ergonómica.



**Figura 56. Cambio interno Shimano Nexus con contra-pedal**

La primera de sus ventajas es su facilidad de uso. Permite cambiar de marcha sin pedalear, pudiendo cambiar varias marchas durante una parada. Resulta muy útil en ciudad donde se para continuamente en semáforos. En los casos en que paramos a una velocidad larga, en un cambio externo generaría mucho esfuerzo tener que acelerar la bici en la marcha más larga por lo que los cambios internos resultan muy beneficiosos. Debido a que el sistema está alojado dentro del buje y bañado en lubricante no están expuestos a la suciedad o el clima y están más protegidos ante un accidente. Por ello su mantenimiento es bajo y resultan más fiables para conducción urbana. Los demás componentes de la transmisión (plato-cadena-piñón) sufren un desgaste muy bajo por lo que la durabilidad de éstos aumenta con este tipo de cambios. Esto se debe a que la cadena siempre trabaja en línea, no se fuerza lateralmente con lo que no se produce cizallado en ella a diferencia de los cambios externos donde es arrastrada arriba y abajo a través de las coronas. Son cambios más suaves que los cambios externos y su colocación en un cuadro no preparado es más fácil en comparación con los externos. Por el contrario este tipo de cambios son difíciles de reparar, tienen un peso elevado por lo que desplaza el centro de gravedad al eje trasero lo cual puede ser indeseable i tienen un coste elevado.

#### *1.6.2.2.3 Cambios mixtos:*

Otros frenos empleados son los cambios mixtos. No son más que la combinación de un cambio interno de 3 velocidades que hace la función de plato, mandados por un cambio de piñones externo 7, 8 o 9 piñones con un solo plato, es decir, son capaces de montar 27 velocidades con sólo un plato. La cadena trabaja solo en un plato por lo que no sufre el estrés cortante de la cadena. Tienen un ratio máximo de 576%.



**Figura 57. Cambio mixto Dual Drive de Sram**

En cuanto a sus ventajas eliminamos el desviador delantero junto con su mantenimiento. Podemos disponer de 27 velocidades reales con lo que podemos cambiar del hipotético plato grande al pequeño directamente tanto en parada como en marcha. Se reduce el mantenimiento, ruidos y se gana en comodidad. En cuanto a desventajas debemos tener muy bien ajustada la línea de cadena, es decir, el centrado de los platos respecto al piñón ya que con un solo plato tenemos que actuar sobre 7 u 8 piñones. La cadena oscila mucho lateralmente por lo que si no está bien centrada tiende a salirse con frecuencia ya que no tenemos desviador que nos centre la cadena en el plato. Su peso es relativamente alto por lo que debemos considerar-lo por si priorizamos la ligereza. Su coste es más elevado que los sistemas convencionales externos y su rendimiento es parecido. Desde hace años la marca **Sram** lo ha comercializado con el nombre de **Dual drive** y muchas marcas lo han montado en bicicletas de gamas altas urbanas y de ciclo-turismo. Los cambios mixtos son una buena opción para bicicletas urbanas que requieran circular a menudo por ciudades con desniveles variados y fuertes. Aportan un rendimiento razonable y una gran facilidad de uso.

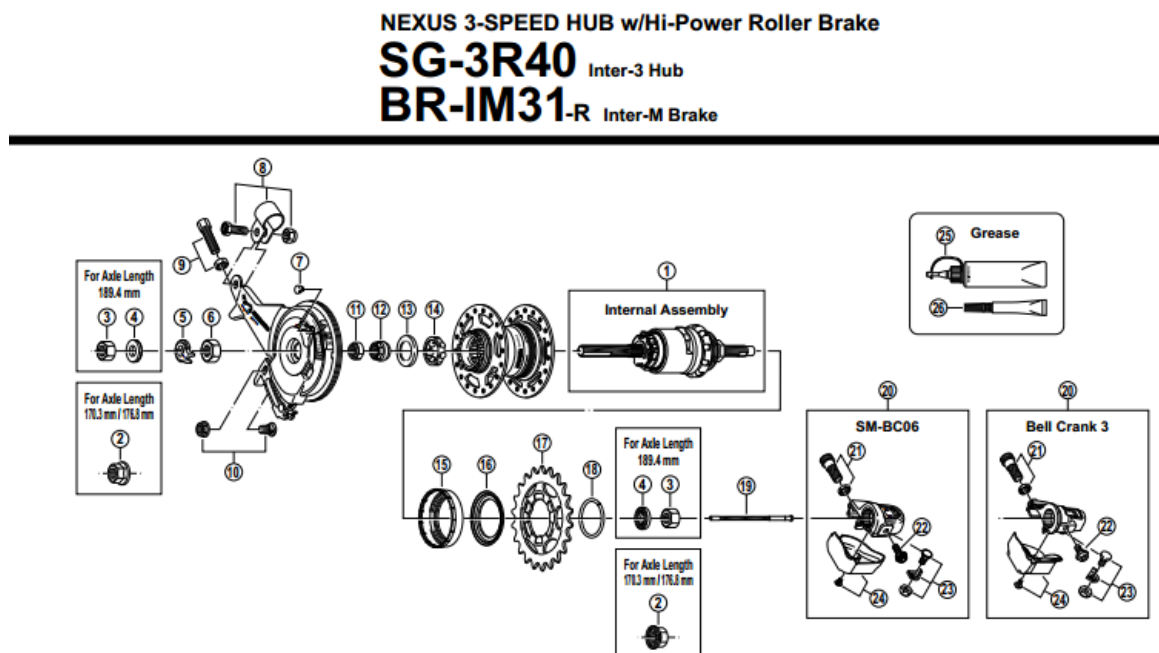
#### *1.6.2.2.4 Cambios internos de pedalier:*

Este tipo de frenos son análogos a los cambios internos de buje trasero. Se centra en facilitar que un cambio interno o externo trasero pueda incrementar su ratio simulando el cambio de platos en las bielas. Es un sistema limpio, cómodo y con todas las ventajas de los cambios internos. Aunque sólo tiene dos posiciones estas permiten doblar y casi triplicar el ratio de cualquier cambio trasero, interno o externo, con un solo plato. Su principal ventaja es que se evita la necesidad de desviador para la cadena y le da mayor duración a la misma. El hecho de ser un sistema cerrado le confiere una gran durabilidad frente a las inclemencias del tiempo, la abrasión del polvo y el agua. Por su elevado coste no puede competir con los externos



**Figura 58. Cambio interno de pedalier**

Para cumplir los requisitos de coste manteniendo un rendimiento aceptable, los cambios internos son la mejor opción por lo que alojaremos un cambio interno en el buje trasero. El modelo actual ha optado por este tipo de cambios alojando un *Shimano Nexus SG-3R40 BR-IM31 -R* cambio interno de 3 velocidades alojado junto con el freno de tambor en el buje trasero. Marcas como *Shimano* ofrecen cambios internos de 3, 7, 11 y 17 velocidades, otras como *Sram* o *Sturmey-Archer* los ofrecen en 3, 5, 7 y 11 velocidades. Los cambios encarecen en gran medida el coste final de la bicicleta por lo que optando por un modelo ligeramente superior como lo sería un cambio *Sturmey-archer XL-RD5* de 5v o el *Sram Internal Gear Hub* de 5v supondría un desembolso de alrededor de 35-45€ de más por lo que mantendremos el mismo cambio interno.



**Figura 59. Despiece freno Shimano Nexus 3R40 BR-IM31**





**Figura 60. Pack Shimano Nexus SG-3R40 BR-IM31 –R**

### *1.6.2.3 Ruedas:*

Debemos considerar que cuanto mayor sea el diámetro de la rueda en el caso de las bicicletas urbanas, mayor será la comodidad de conducción, podremos conducir de una manera más relajada. Las ruedas pequeñas son más rápidas de acelerar y aportan una mayor maniobrabilidad pero no es necesario en las bicicletas urbanas. Éste sería el caso de las bicicletas de montaña donde se requiere gran maniobrabilidad y agilidad. Las ruedas diseñadas para conducción urbana deben ofrecer un buen agarre u alta resistencia a pinchazos. Por ello a diferencia del modelo actual el cual aloja en los ejes delanteros y traseros, respectivamente, ruedas de 20" i 24", emplearemos en el nuevo modelo tanto en el eje delantero y trasero ruedas de 24". Debemos adecuar la medida de la horquilla para que aloje correctamente la rueda delantera. Los beneficios que aportan una rueda de 24" en relación a una de 20" compensan con creces el incremento de coste que pueda suponer que no será mucho. Los dibujos de rodadura de los neumáticos para ciclismo deben ser semi-lisos brindando un rodado suave, confortable y eficiente para recorrer largas distancias.

En cuanto a las llantas montaremos dos llantas de 24" con buje en las dos llantas.



**Figura 60. Rueda delantera de 24" Shimano color aluminio con llanta y buje fabricado en aluminio**



**Figura 61. Rueda trasera de 24" completa con *buje Shimano Nexus 3v*. Aro plateado y pared simple.**

En cuanto al neumático, el modelo actual monta unos *Schwalbe Maraton Plus Smartguard SH348* con una superficie de rodadura apta para ciclismo urbano. Resultan relativamente económicos y fiables por lo que mantendremos este tipo de neumático.



**Figura 62. Neumático Schwalbe maraton plus smartguard SH348**

Medidas (mm)	Medidas (")	Peso	Carga
47-507	24x1,75	920g	95kg

#### **1.6.2.4 Conjunto Sillín-Tija:**

Es común pensar que los sillines más acolchados son los más cómodos pero no es así. Un excesivo acolchado puede crear presiones en los nervios y arterias sensibles en esa zona además de hacerlo menos eficiente para el pedaleo perjudicando el equilibrio. A grandes rasgos podemos decir que para recorridos



cortos y posturas erguidas un sillín blando (incluso con muelles) y ancho es lo más cómodo. Cuanto más largo el recorrido y más deportiva la postura mayor necesidad de que el sillín sea rígido pero se ajuste a nuestra anatomía. Una opción acertada para ciclismo urbano es un sillín con elastómeros. Es firme, no se mueve tanto al pedalear o después de superar un bache rebota 3 veces. Elegiremos por tanto un modelo con elastómeros económico como el Confort City de la marca Ges el cual es un sillín de bicicleta unisex con un diseño anatómico para una mayor comodidad, con elastómeros, sistema de fijación de railes. Sus medidas son 245x208mm



**Figura 63. Sillín Ges Confort City con elastómeros**

En cuanto a la tija:



**Figura 64. Tija Diverse Mecanismo de tija gris**

<b>Ø= 28.2mm</b>	<b>L=350mm</b>	<b>Aluminio 6061-T6 de forja</b>
------------------	----------------	----------------------------------

#### *1.6.2.5 Sistema de transmisión:*

##### *1.6.2.5.1 Plato y biela*

Dado que mantendremos los 3 piñones, mantendremos también el plato. Más de un plato implicaría la colocación de un desviador delantero y dado que sólo hay 3v resulta inadecuado. Instalaremos el plato junto con la biela. Dado que el uso es para ciudad el largo de bielas carece de importancia ya que el terreno es favorable por lo que emplearemos las habituales de 170cm.



**Figura 65. Plato y biela Miranda 1v Fixed 170 46 Negro**

Bielas en aluminio	Platos en acero	Largo de bielas =170mm	Nº de dientes =44
--------------------	-----------------	------------------------	-------------------

#### *1.6.2.5.2 Pedales:*

Los pedales para ciclismo urbano han de tener unas prestaciones que les permitan un buen agarre al calzado pero a la vez que nos permitan llevar el pie a tierra en las frecuentes paradas o situaciones de emergencia.

Los normalmente empleados son unos pedales de plataforma que tengan algún tipo de sistema antideslizante. Pueden ser pequeños tacos de metal, o que el propio pedal sea metálico y su diseño agarre bien el el calzado. También podemos usar diferentes sistemas de sujeción del pedal al pie con distintos tipos de calapiés (plásticos, con correas, etcétera...). Los pedales empleados se muestran a continuación:



**Figura 66. Pedales Red cycling sports / Trekking Alu Comp**

#### *1.6.2.5.3 Eje del pedalier:*



**Figura 67. Eje Pedalier Shimano BB-UN26:**

#### 1.6.2.5.4 Cadena:

Debemos montar una cadena compatible con un cambio de marchas de 3 velocidades como es nuestro caso. Por ello emplearemos la cadena B-twin concebida para los cambios de 3 a 7 velocidades de cualquier marca.



**Figura 68. Cadena B-twin de 3-7v**

#### 1.6.2.6 Componentes clave para ciudad:

##### 1.6.2.6.1 Iluminación:

De entre los sistemas de generación de energía para la alimentación el sistema por imanes es el más idóneo para nuestro caso. Emplear un sistema con baterías o pilas supone un elevado impacto medioambiental dado la toxicidad de baterías o pilas y la necesidad de cambiarlas o recargarlas periódicamente. Como se ha mencionado anteriormente, en la conducción únicamente urbana (nuestro caso), en la que ya existe una iluminación adecuada de las vías de circulación, por ello con una luz intermitente de poca intensidad será suficiente para ser visto por los vehículos. Por ello la mejor opción es la inducción magnética por imanes, situado en el buje trasero. Este sistema es el empleado por el “Bicing” actual. La energía generada únicamente puede abastecer el consumo de los LED por lo que emplearemos este tipo de iluminación. En sus inicios Bicing empleaba un sistema de imanes con LED de la casa Reelight, empresa de iluminación para vehículos consolidada, por lo que mantendremos la misma dinámica empleando las luces de la misma casa. Montaremos el Kit Reelight SL100 el cual produce una luz intermitente tanto en marcha como parado. Este kit es incompatible con los frenos de disco traseros. En él se incluyen las luces delanteras y traseras, los dos imanes y los soportes de montaje..se incluirán también catadióptricos delanteros y traseros.



**Figura 69. Kit SL100 Reelight,**



**Figura 70. catadióptrico Bosh Muller**

#### *1.6.2.6.2 Guardabarros:*

Existen distintas variedades de guardabarros. Como se ha visto en estos últimos años, la viabilidad económica del bicig no ha sido posible. La única solución a este problema es la ingreso de beneficios mediante la publicidad por lo que próximamente además del logo de la empresa el guardabarros contará con más publicidad. Esto nos obliga a asignar un guardabarros acorde al diseño actual, el cual cubra prácticamente la mitad del volumen de la rueda con la finalidad de proteger ante las inclemencias meteorológicas además de conseguir una superficie donde colocar la publicidad. En cuanto al guardabarros emplearemos el mismo tipo de guardabarros en el caso de la rueda trasera. En el caso de la rueda delantera, hemos asignado un diámetro de rueda mayor (24" frente a las 20" del modelo actual) por lo que deberemos cambiar el guardabarros delantero que permita el perfecto acoplamiento entre él y la rueda.



**Figura 71. Guardabarros delantero para 24" o 26" XLC 4.95e**

#### *1.6.2.6.3 Cubrecadenas*

El tamaño del guardabarros de la cadena deberá ir acorde al diámetro del plato, o mejor dicho, al número de dientes por lo que deberemos escoger un guardabarros para un plato de 44 dientes.



**Figura 72. Cubrecadenas para plato de 44/48 dientes**

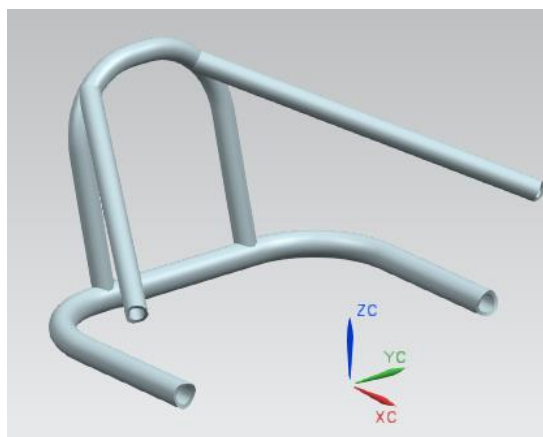
#### *1.6.2.6.4 Timbre:*



**Figura 73. BBB Timbre EasyFit BBB-12 negro**

#### *1.6.2.6.5 Portaequipajes*

Debido a la necesidad de tener un acoplamiento en el manillar que permita depositar la bicicleta en cualquiera de las estaciones de servicio. El portaequipajes lo formará un subconjunto de barras metálicas de aluminio soldadas al tubo principal del manillar que además permitirá colocar los acoplamientos para el depositado en las estaciones de la misma manera que emplea el sistema del Bicing actual. El subconjunto diseñado se muestra a continuación



**Figura 74. Extensión de manillar para el acoplamiento en las estaciones y la carga de bolsas**

## 1.7 Cálculos

### 1.7.1 Estudio de tensiones.

Para establecer las fuerzas que intervienen en el equilibrio estático posteriormente mostrado se han supuesto una serie de parámetros que facilitan el cálculo de reacciones; las masas de la bicicleta y del ciclista están concentradas en sus respectivos centros de gravedad (es evidente que las masas del ciclista y bicicleta no están concentradas en sus respectivos centros de gravedad pero simplifica el cálculo de las reacciones de apoyo), la superficie de rodadura es completamente lisa sin baches o imperfecciones por lo que no se producirán por tanto impactos asociados a bruscas aceleraciones que influirían notablemente en el valor de las reacciones máximas aumentándolo y modificando la distribución de tensiones. La primera etapa de recorrido de las fuerzas en la bicicleta se inicia en el punto de contacto de la rueda delantera con el pavimento y concluye en el buje que le permite girar. El itinerario de fuerzas, tensiones y deformaciones recorre la cubierta, utiliza el aire a presión para alcanzar la llanta, fluye por los radios de las ruedas hasta llegar al buje. La siguiente etapa de transferencia de fuerzas aparece en la horquilla y la potencia y concluye en el contacto de las manos del ciclista con el manillar y en la bifurcación señalada por los rodamientos de dirección

#### 1.7.1.1 Cargas y tensiones en el cuadro

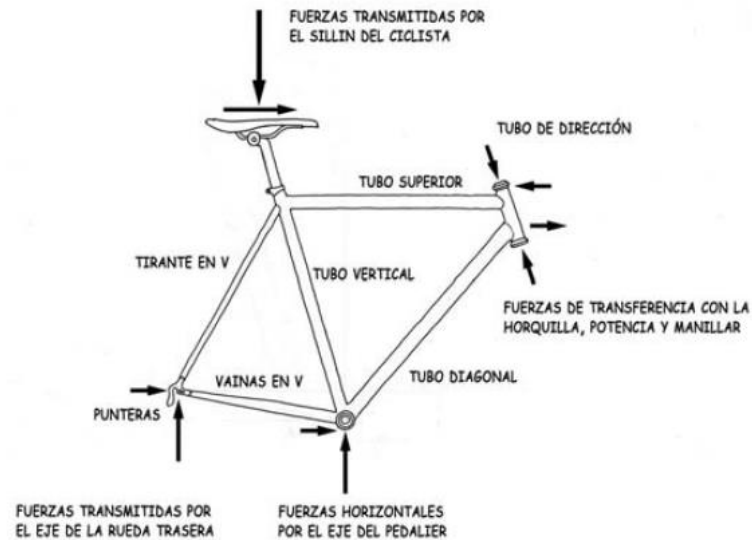
Los tubos de los cuadros de bicicleta suelen tener diámetros comprendidos entre 15 i 45mm con espesores de entre 0,5 a 2mm. Es el elemento estructural junto con la horquilla más importante ya que definen las prestaciones mecánicas de la bicicleta.

Sin considerar las fuerzas transversales, fuerzas perpendiculares al plano de la hoja, las fuerzas que actúan en el cuadro de la bicicleta son las siguientes:

Las aplicadas por el ciclista en el sillín y a través de los pedales, en el eje del pedalier

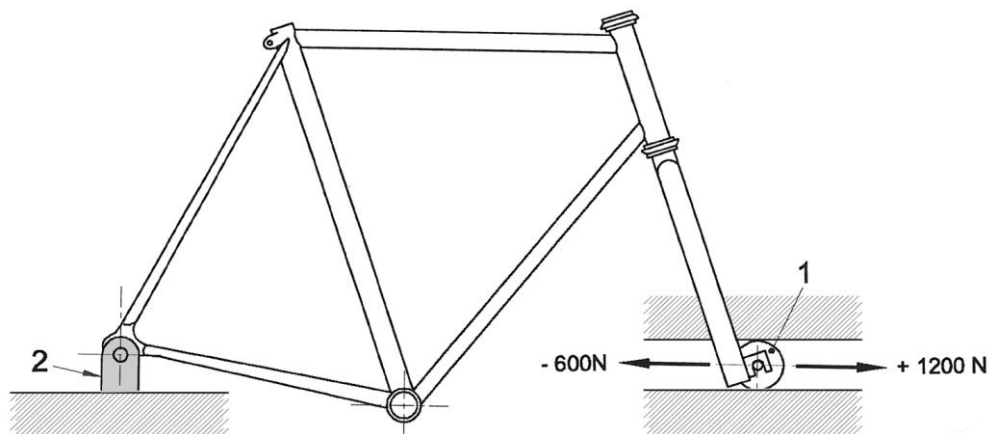
Las transferidas por la rueda trasera a las punteras posteriores

Las transmitidas por los dos rodamientos a la barra de dirección originadas por las reacciones de apoyo de apoyo a la rueda delantera y las fuerzas aplicadas al manillar.



**Figura 75. Cargas en un cuadro de bicicleta**

Podemos deducir que los tirantes a pesar de su nombre, trabajan siempre a compresión bajo una carga algo inferior a las reacciones generadas en el eje trasero mientras que las vainas por lo general trabajan a tracción. Para poder disponer de órdenes de magnitud de los esfuerzos máximos que podrían solicitar al cuadro se toma como referencia las cargas aplicadas en un ensayo en particular tal y como se muestra en la siguiente figura.



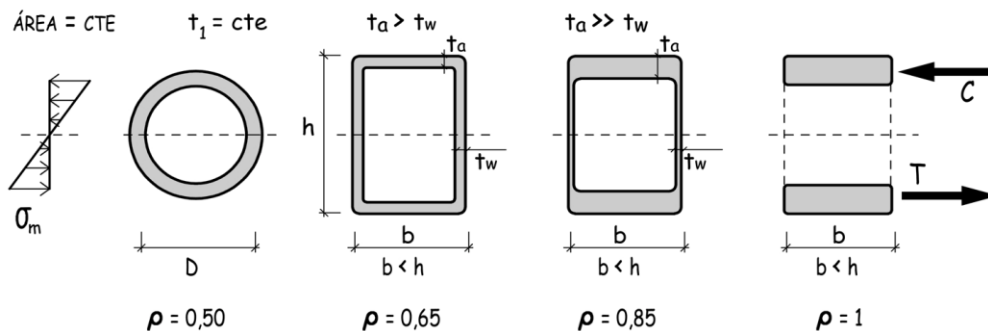
**Figura 76. Ensayo normalizado en el cuadro.**

Suponiendo un límite elástico de un acero típico de unos 250 N/mm<sup>2</sup> y una sección de un tubo circular sea de los más pequeños con un diámetro de unos 20 mm i espesor de 2 mm la cual su sección sería:

$$A = \frac{\pi * (20^2 - 16^2)}{4} \approx 113 \text{ mm}^2$$

Tracción o compresión máxima:  $113 \text{ mm}^2 * 250 \text{ N/mm}^2 = 28250 \text{ N}$

Podemos comprobar que las cargas axiales no son un problema a considerar en el dimensionado de los tubos del cuadro ya que en los casos mes desfavorables las cargas normales llegan a los 1200 N frente a los 28250 N como capacidad resistente máxima. Los esfuerzos más determinantes en el dimensionado corresponden a los de flexión lo cual son presentes en las zonas de unión con soldadura de los tubos del cuadro. Es aquí donde se amplifican notablemente las tensiones y las probabilidades de fisuras o plastificación aumentan. Las secciones circulares son adecuadas para los esfuerzos de compresión o tracción. No es el caso para las cargas de flexión donde pierde eficacia en comparación con otro tipo de secciones tubulares. Como gran parte del área se concentra en la fibra neutra donde las tensiones debido a la flexión se anulan su eficacia para trabajar a flexión se reduce a un 50%. En la siguiente figura se compara la eficacia de los distintos tipos de secciones tubulares.



**Figura 77. Eficacia a flexión de secciones tubulares**

#### 1.6.1.2 Cargas y tensiones en el sistema de dirección

El conjunto horquilla - potencia - manillar permite la transmisión de fuerzas que actúan sobre las punteras de la horquilla y del manillar hacia el cuadro. En las punteras de la horquilla aparecen las reacciones de apoyo causadas por el contacto con el pavimento y en el manillar las cargas ocasionadas por la fuerza de las manos del ciclista. La barra vertical de la horquilla en la que se unen sus dos patas penetra en el tubo de dirección del cuadro. Se instala los rodamientos entre el tubo de dirección y el tubo vertical de la horquilla para permitir la rotación simultánea del subconjunto de dirección. Los rodamientos además transmiten los esfuerzos del cuadro a la barra vertical de la horquilla.



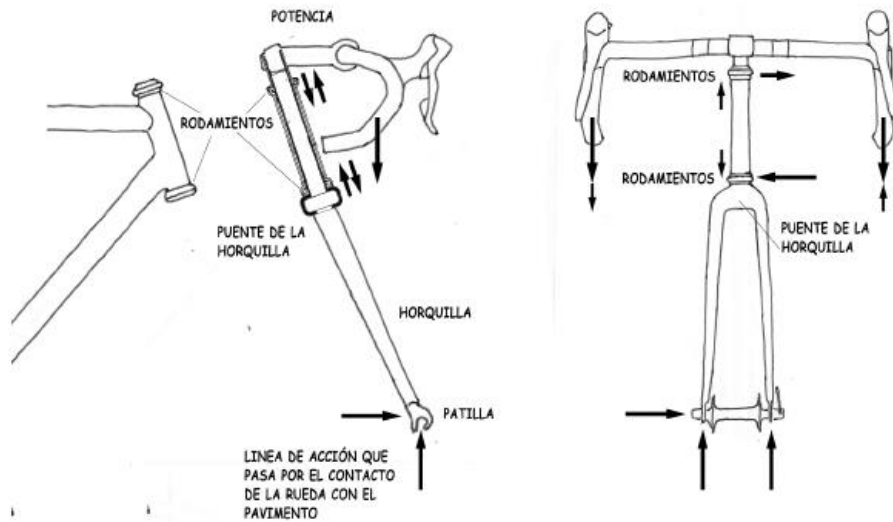


Figura 78. Cargas en el sistema de dirección

En la siguiente figura se muestran las sollicitaciones del conjunto presentado. Se ha supuesto simétrica la carga en las punteras de la horquilla lo que no se siempre coincide dado que en las curvas una puntera estará más solicitada que otra. De la figura se extrae que la zona de máxima tensión se sitúa en el rodamiento inferior

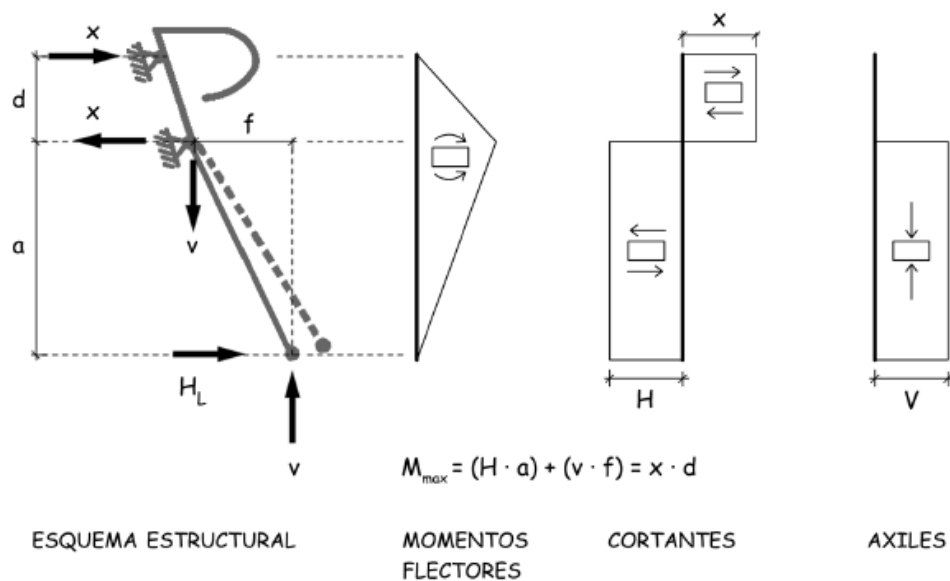
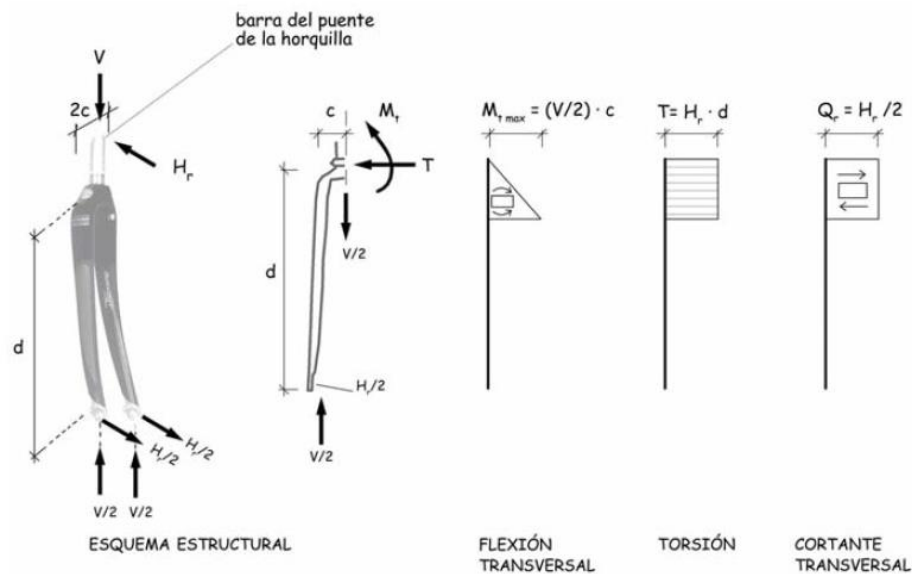


Figura 79. Tensiones en el sistema de dirección

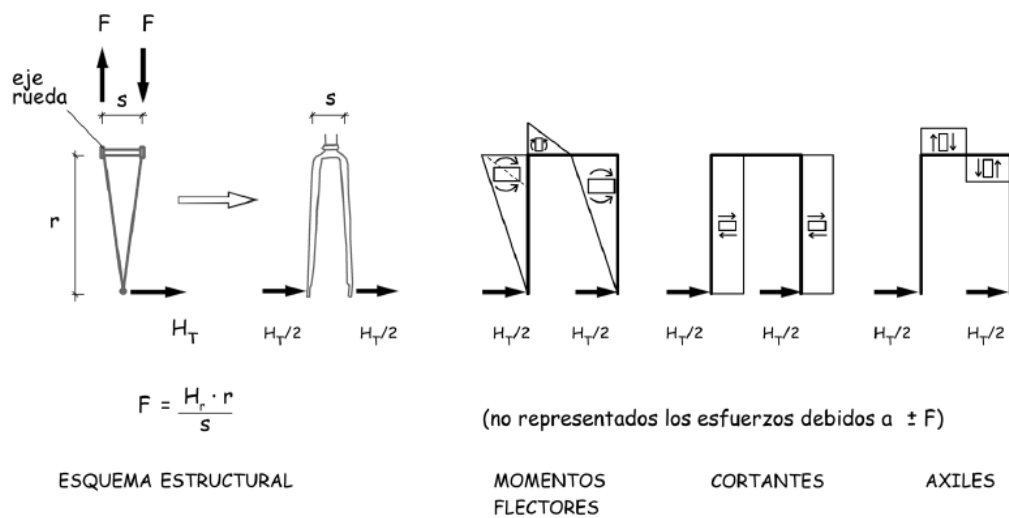
Con tal de mantener el equilibrio estático se generarán dos reacciones de igual dirección pero sentido contrario en cada uno de los rodamientos superior e inferior. La barra puente que conecta las dos patas de la horquilla y de la que arranca la barra vertical cambia de dirección bruscamente por lo que las sollicitaciones

también se verán afectadas. Esta zona es de principal interés también. La flexión que generaban las reacciones de las punteras se convierten en torsión para volver luego a ser flexión en la barra vertical. En la siguiente figura se muestran los esfuerzos debidos a las reacciones  $H$  i  $V$



**Figura 80. Tensiones en la barra-puente de la horquilla**

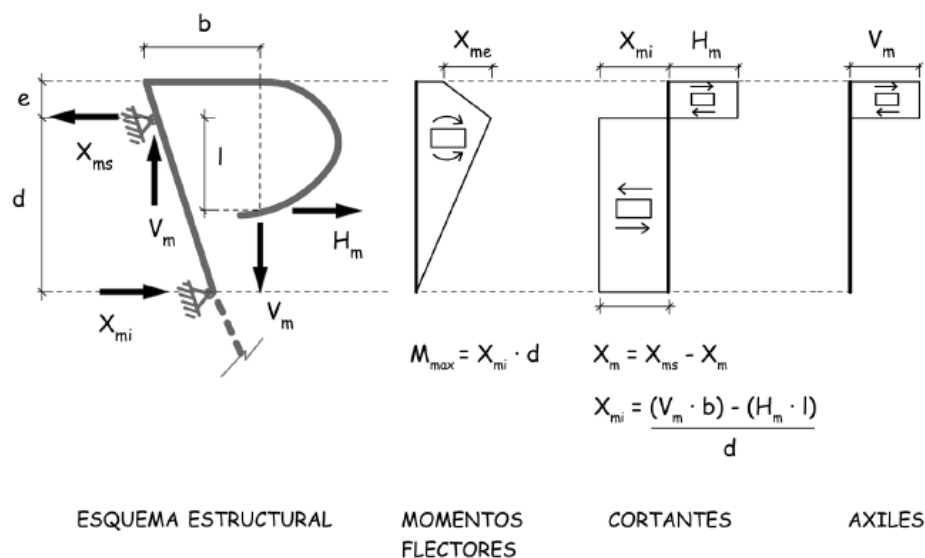
Esta barra además sirve de dintel al pórtico y permite la transferencia a los rodamientos de la reacción de apoyo transversal. Los radios inclinados de a un lado y otro del plano de la rueda generan en las punteras de la horquilla un par de fuerzas verticales y contrarias que equilibran el momento  $H_t \cdot r$  y se sumarán o restarán a los valores de la reacción  $V$ .



**Figura 81. Tensiones en las patas de la horquilla**

Considerando las cargas sobre el manillar supondremos iguales las fuerzas provocadas por la mano del ciclista tendrán una componente vertical  $V_m$ , hacia abajo, y otra horizontal,  $H_m$ , hacia afuera. La condición de equilibrio exige que en los rodamientos aparezcan unas “reacciones de apoyo” que neutralicen las fuerzas aplicadas. Como los rodamientos, equivalen a articulaciones fijas, toda la carga vertical,  $V_m$ , estará equilibrada por la reacción del más próximo a la potencia del manillar. La carga vertical,  $V_m$ , no habrá pasado el filtro del primer rodamiento que encuentra tras haber recorrido toda la geometría del manillar y de la barra de potencia. Ambos rodamientos, como consecuencia de las fuerzas  $H_m$  y  $V_m$  provocadas por la presión de las manos sobre el manillar tendrán que transmitir, además, las reacciones horizontales  $X_{m,s}$ , en el superior y  $X_{m,i}$ , en el inferior, que asegurarán el cumplimiento de las condiciones de equilibrio. Las tensiones generadas por las cargas mencionadas se muestran en la siguiente figura:

$$Y_{m,s} = V_m ; \quad Y_{m,i} = 0 ; \quad X_{m,i} \cdot d = V_m \cdot b - H_m \cdot l ; \quad X_{m,i} + H_m = X_{m,s}$$

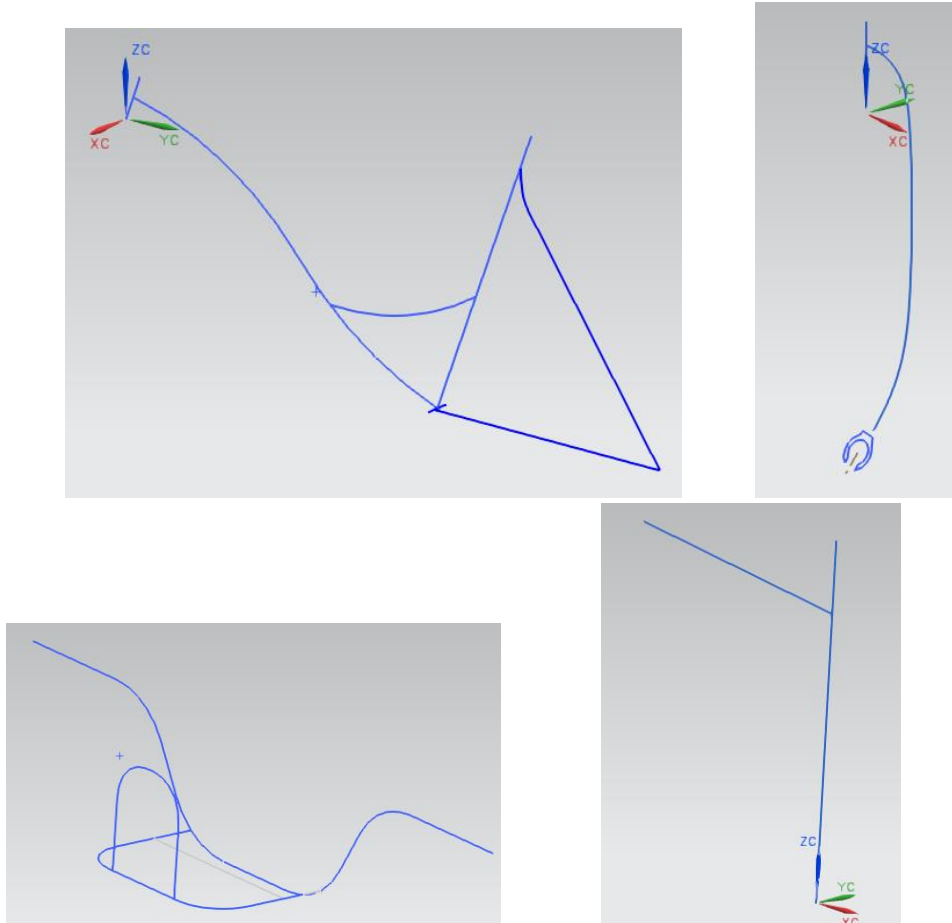


**Figura 82. Cargas y tensiones en el manillar.**

Por lo tanto las cargas que deben de soportar los dos rodamientos de dirección son las provocadas por las fuerzas aplicadas en las punteras de las horquillas en contacto con el eje y por las introducidas por el ciclista al apoyarse sobre el manillar. Conociendo estas dos cargas con exactitud podríamos determinar las tensiones y deformaciones en el conjunto de la dirección y las fuerzas de reacción transmitidas al cuadro desde el tubo de dirección. Esto resulta imposible dada la dificultad de predecir las reacciones máximas de apoyo en las punteras de la bicicleta. En los ensayos UNE se aplican fuerzas de apoyo horizontales del orden de 1000-1500N correspondientes a los ensayos de flexión de la horquilla. Estos ensayos corresponden a los estados límites últimos y buscan la capacidad máxima de resistencia máxima del componente dado que la máxima reacción horizontal de apoyo que se produce en el contacto de la cubierta de la rueda delantera con el pavimento suele ser de algunas decenas de newton solamente. Solo en caso de impactos considerables podrán alcanzarse valores superiores a los 1000N.

Las fuerzas horizontales siempre generarán mayores reacciones en el rodamiento inferior por lo que en los ensayos será el más solicitado como también lo es en la práctica. De hecho, suele ser el que padece más patologías y el que debe ser sustituido con mayor frecuencia. Lo que explica, en algunos modelos, la tendencia a conificar el tubo de dirección del cuadro para así poder disponer de un rodamiento más capaz abajo que arriba.

### 1.7.2 Dimensionamientos mínimos:

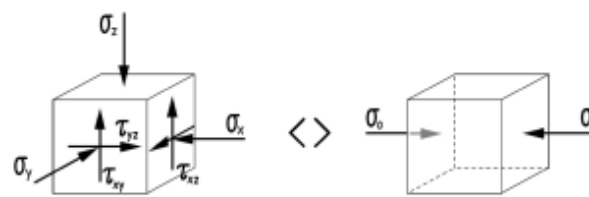


### 83. Disposición geométrica del cuadro, horquilla, manillar y potencia

Cuadro-horquilla:	
Angulo de avance/dirección	70°
Ángulo del tubo del sillín	70°
Longitud del eje trasero	406,40 mm
Longitud del eje delantero	680.21 mm
Avance de la horquilla / trail	52.80 mm

Longitud del tubo del sillín	435 mm
Longitud entre ejes / batalla	1086,62
Manillar	
Longitud de manillar	600 mm
Potencia	
Longitud de potencia	79.73 mm
Angulo de potencia	9,25°

Teniendo completado los criterios para la distribución y geometría de los tubos en el conjunto del cuadro y la horquilla procederemos a realizar los dimensionamientos mínimos de los tubos. En el dimensionamiento de las bicicletas se deberán tener en cuenta las secciones críticas, aquellas las cuales están sometidas a grandes esfuerzos y que por ello sus tensiones son notablemente más altas. Como se ha mostrado las tensiones axiales y cortantes no son un problema para el dimensionado de tubos ya que el tubo menos esbelto de un cuadro típico de bicicleta con un diámetro/espesor relativamente bajo de alrededor 20/1.5 de un acero típico de límite 250 Mpa ya puede soportar fuerzas axiales de 25000N siendo sus habituales de 1000N como máximo. El problema es la flexión por lo que se mostrará en la zona de empotramientos (soldaduras de los tubos). En general la normativa referente a los requisitos de ensayo para la validación de la calidad mecánica de los elementos estructurales de la bicicleta se basa en las capacidades últimas de los materiales. En definitiva, los ensayos aplicados a los cuadros simulan hipotéticas condiciones de choque ya que la magnitud de tensiones está por encima de las habituales padecidas por los elementos. Por tanto tomaremos como referencia para los dimensionamientos mínimos de los elementos el valor de estas cargas teniendo en cuenta la geometría seleccionada y el material empleado. Dado que no están realmente solicitados en toda su extensión los elementos estructurales de la bicicleta dimensionaremos las zonas de mayor interés, esas zonas críticas que están fuertemente solicitadas. Teniendo en cuenta el estudio de tensiones anterior las zonas críticas que precisan de un mayor control dimensional son: la barra puente de la horquilla que conecta las dos patas, el tubo del pedalier, la tija de la potencia y su extensión.. Para poder contrastar los esfuerzos normales y tangenciales con los valores límites del material es útil emplear las tensiones de Von Misses. En los materiales que tienen un comportamiento marcadamente elastoplástico como pueden ser los aceros al carbono permite establecer una tensión de comparación que se deduce igualando la energía de distorsión asociada al estado pluritensional con la correspondiente al estado unidimensional.



CRITERIO DE VON MISES  $\sigma_{co} = f[\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}] \leq \sigma_e$

El material empleado para el cuadro y la horquilla será un AISI 1010 por lo asignaremos los valores de éste para la realización de los cálculos.

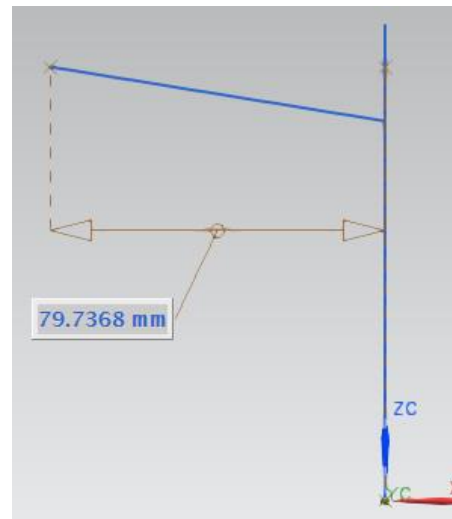
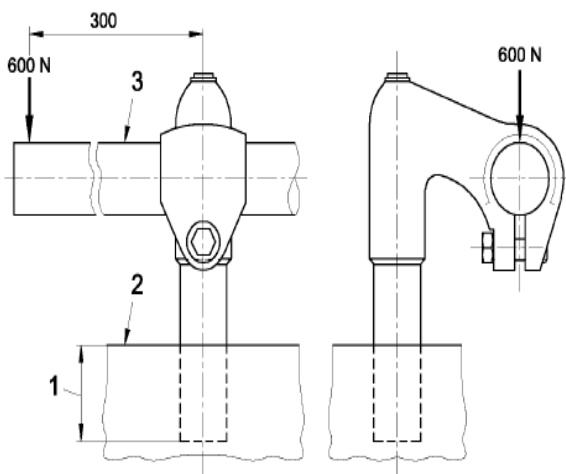
- $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
- Tensión límite elástico =  $305 \text{ N/mm}^2$
- Tensión máxima de tracción =  $368 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson =  $0.28$

El material empleado para la potencia y el manillar es aleación de aluminio 5086 con valores mecánicos:

- $E = 72000 \text{ N/mm}^2$
- Tensión límite elástico =  $217 \text{ N/mm}^2$
- Tensión máxima de tracción =  $290 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson =  $0.33$

### 1.7.2.1 Potencia:

En cuanto al dimensionamiento de la potencia, sabido la longitud de potencia y el ángulo de ésta dimensionaremos la tija de la potencia en base al ensayo de flexión de la potencia. Dimensionaremos la tija de la potencia la cual está fuertemente solicitada a flexión. Para facilitar los cálculos generaremos una dependencia del espesor respecto al diámetro de forma que simplifiquemos la ecuación. Tomaremos como referencia un tubo de 30x2 el cual tiene una  $r = D/e = 15$ . Por tanto  $e = D/15$



$$\sigma_{admisibles} = 217 = \frac{F \cdot d1}{\frac{\pi}{32} \left[ \frac{D^4 - (D - 2e)^4}{D} \right]} = \frac{F \cdot d1}{\frac{\pi}{32} \left[ \frac{D^4 - \left( D - 2 \frac{D}{15} \right)^4}{D} \right]} = \frac{600 \cdot 79,736}{\frac{\pi}{32} 0.435 D^3} +; D$$

$$= \sqrt[3]{\frac{600 \cdot 79.736}{\frac{\pi}{32} 0.435 \sigma_{Vonmisses}}} = 25.31 mm \text{ e } = \frac{d}{15} = 1.687;$$

$$W_{etubos} = \frac{\pi}{32} 0.435 D^3 = \frac{\pi}{32} 0.435 \cdot 25.31^3 = 692 mm^3$$

Precisamos de un mínimo de 692mm<sup>3</sup> de módulo resistente elástico para soportar las cargas del ensayo sobre la tija de la potencia. Las cargas axiales de 600 N se han subestimado. Éstas suponen un valor de tensiones considerablemente menor por lo que prescindiremos de ellas. El diámetro exterior de la tija de la potencia viene limitado por el diámetro del tubo vertical de la horquilla la cual va alojada en ella. Disponemos de un diámetro interior del tubo de la horquilla de 22 por lo que necesitaremos una sección de diámetro 22 con un espesor que nos aporte un módulo resistente igual o mayor al calculado. Por tanto

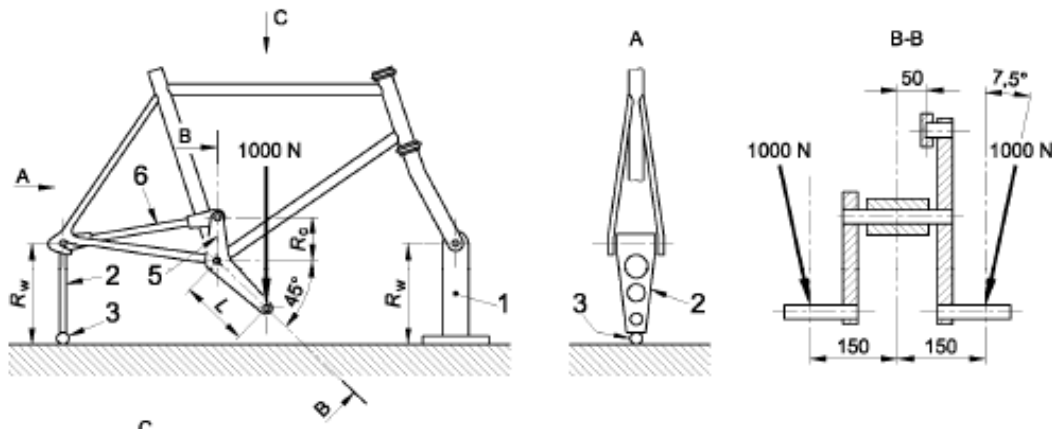
El tubo soldado entre la tija de la potencia y la unión con el manillar no debe permitir la deformación angular lo cual causaría el desplazamiento longitudinal de la barra maciza del ensayo. Estará fuertemente solicitado a torsión y de él dependerá el cumplimiento de la normativa en cuanto a la demanda de una deformación menor de 10mm en el eje de dirección y sentido de la fuerza. Por lo tanto, dado que la aplicación de la fuerza está a 300mm del eje de este tubo y no permite una deformación menor de 10mm, la deformación angular permitida será  $\theta = \arctg(10/300) = 1.9091$  grados. Con estos cálculos procederemos a evaluar el dimensionamiento mínimo del tubo de unión.

$$\phi_A = \frac{M_{torsor} \cdot L}{G_A \cdot I_o} = \frac{M_{torsor} \cdot L}{G_A \cdot I_o}; I_o = \frac{M_{torsor} \cdot L}{G_A \cdot \phi_A} = \frac{300 \cdot 600 \cdot 79.73}{72000 \cdot 1.9091 \frac{2\pi}{360}} = 5982.3 mm^4$$

Por tanto el dimensionamiento mínimo del tubo en cuestión deberá tener un momento de inercia polar superior a 5982.3 mm<sup>4</sup> con tal de no superar una deformación longitudinal de 10mm durante la torsión.

### 1.7.2.2 Tubo del pedalier:

El tubo del pedalier es uno de los tubos de mayor interés sino el principal en el diseño de cuadros de bicicleta. A lo largo de su vida útil soportará un gran número de cargas cíclicas derivadas del continuo pedaleo del ciclista. Basaremos su dimensionamiento según las cargas padecidas en el ensayo de fuerzas de pedaleo. Por tanto teniendo en cuenta la figura siguiente el tubo del pedalier estará fuertemente tensionado debido al momento flector de la componente horizontal de la fuerza y a un momento torsor debida a la componente vertical de la fuerza. Mantendremos la relación de  $e=D/15$  para facilitar los cálculos.



$$D1 = 175 \cos 45$$

$$D2 = 175 \cos 45$$

$$\sigma_{flexió} = \frac{F1 \cdot d1}{I} y; I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) ; \zeta_{torsión} = \frac{F2 \cdot d2}{I} y; I = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) ;$$

$$\frac{1000 \sin(7.5) 175 \cos(45)}{I} y = \frac{1000 \cos(7.5) 175 \cos(45)}{I/2} y ; \sigma_{flexió} \approx 2 \zeta_{torsión}$$

$$Si \sigma_{flexió} > 2 \zeta_{torsión}; \sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{flexió}^2 + 3 \zeta_{torsión}^2}$$

$$We = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{D^4 - \left( D - 2 \frac{D}{15} \right)^4}{D} \right] = \frac{\pi}{32} 0.435 D^3 \left( e = \frac{D}{15} \right)$$



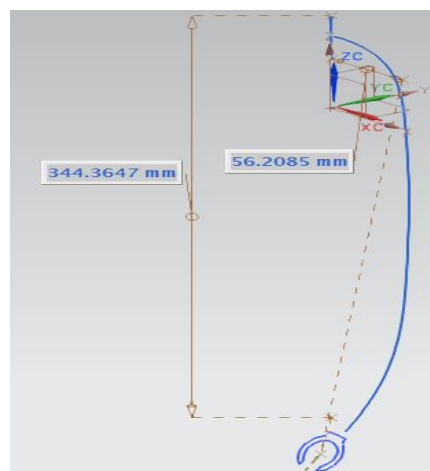
$$\begin{aligned}
\sigma_{Von\ Misses.} &= \sqrt{\left(\frac{F \cdot d1}{W_{stubos}}\right)^2 + 3\left(\frac{F \cdot d2}{I_o}y\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{F \cdot d1}{W_{stubos}}\right)^2 + 3\left(\frac{F \cdot d2}{I_o}y\right)^2} \\
&= \sqrt{\left(\frac{F \cdot d1}{\frac{\pi}{32}0.435D^3}\right)^2 + 3\left(\frac{F \cdot d2}{\frac{\pi}{16}0.435D^3}\right)^2} = \sqrt{\frac{4F^2d1^2 + 3F^2d2^2}{\frac{\pi^2}{16^2}0.435^2D^6}} \\
&= \sqrt{\frac{4(1000\sin(7.5))^2(175\cos(45))^2 + 3(1000\cos(7.5))^2(175\cos(45))^2}{\frac{\pi^2}{16^2}0.435^2D^6}}; D \\
&= 20.14mm \text{ lo cual corresponde un espesor de } e = \frac{20.14}{15} = 1.3433mm
\end{aligned}$$

$$W_e = \frac{\pi}{32} 0.435D^3 = 348.86mm^3$$

El mínimo módulo resistente mínimo del tubo del pedalier es de 348.86mm<sup>3</sup>

### 1.7.2.3 Barra puente de la horquilla:

La barra puente de la horquilla es una zona de especial interes. En ella se generan los momentos flectores máximos tanto de flexión como de torsión de las reacciones verticales y horizontales en la horquilla generadas por cargas externas. El dimensionamiento de esta barra se realizará en base al ensayo de flexión de la normativa la cual nos hemos regido para validar el nuevo modelo. Por tanto someteremos a la horquilla a fuerzas perpendiculares de 1000N en dirección perpendicular al eje del tubo de dirección que generará en algunos elementos de la barra puente horizontal una coincidencia de fuerzas axiales i cortantes debidas a los momentos flectores sobre la barra puente y la torsión sobre las secciones últimas de las patas de la horquilla.



- d1 = 344.36 mm
- d2 = 56.2085 mm

$$\sigma_{flexi\acute{o}} = \frac{F \cdot d1}{I} y; I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) ; \zeta_{torsi\acute{o}} = \frac{F \cdot d2}{I} y; I = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) ;$$

$$\frac{F \cdot 344.36}{I} y = \frac{F \cdot 56.2085}{I/2} y ; \sigma_{flexi\acute{o}} = 2.86 \zeta_{torsi\acute{o}}$$

$$Si \sigma_{flexi\acute{o}} > 2 \zeta_{torsi\acute{o}}; \sigma_{Von Mises} = \sqrt{\sigma_{flexi\acute{o}}^2 + 3 \zeta_{torsi\acute{o}}^2}$$

Para simplificar la ecuaci3n generaremos una dependencia de espesor en relaci3n al diámetro. Tomaremos como referencia un tubo de 30x2mm, una medida aproximada de los tubos de direcci3n de la horquilla. Por tanto, e=D/15

$$\begin{aligned} \sigma_{Von Mises \text{ admisibles}} &= 305 Mpa = \sqrt{\left(\frac{F \cdot d1}{W_{etubos}}\right)^2 + 3 \left(\frac{F \cdot d2}{I_o} y\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{F \cdot d1}{\frac{\pi}{32} 0.435 D^3}\right)^2 + 3 \left(\frac{F \cdot d2}{\frac{\pi}{16} 0.435 D^3}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{F^2 \cdot d1^2}{\frac{\pi^2}{32^2} 0.435 D^3}\right) + 3 \left(\frac{F^2 \cdot d2^2}{\frac{\pi^2}{16^2} 0.435 D^3}\right)} \\ &= \sqrt{\frac{4 F^2 d1^2 + 3 F^2 d2^2}{\frac{\pi^2}{16^2} 0.435^2 D^6}} = \sqrt{\frac{F^2 d1^2 + 3 F^2 d2^2}{\frac{\pi^2}{16^2} 0.435^2 D^6}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \cdot 1000^2 344.36^2 + 3 \cdot 1000^2 56.2^2}{\frac{3.1415^2}{16^2} 0.435^2 D^6}}; D = \mathbf{29.88 mm}; e = D/15 = \mathbf{1.992 mm} \end{aligned}$$

$$W_{etubos} = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{D^4 - (D - 2e)^4}{D} \right] = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{D^4 - \left(D - 2 \frac{D}{15}\right)^4}{D} \right] = \frac{\pi}{32} 0.435 D^3; = \mathbf{1139.25 mm^3}$$

Para la barra puente es necesario un M3dulo resistente elástico de 1139.25mm<sup>3</sup> se puede observar que es una barra muy solicitada ya que requiere de un m3dulo resistente elástico superior al resto. Comprobaremos

su dimensionamiento en base a su flecha máxima la cual no debe superar los 5mm por lo que considerándola como una viga en voladizo tenemos que:

$$\frac{PL^3}{3EI} = \frac{1000 \cdot 344.36^3}{3 \cdot 210000 \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)} = 3.801mm$$

$$f_m = \frac{PL^3}{3EI};$$

$$f_{max} = \frac{PL^3}{3EI}; I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \left( D^4 - \left( D - 2 \frac{D}{15} \right)^4 \right) = \frac{\pi}{64} (0.435 D^4)$$

$$\frac{\pi}{64} (0.435 D^4) = \frac{PL^3}{3E f_{max}}; D = \sqrt[4]{\frac{64 PL^3}{\pi 3E f_{max} 0.435}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 1000 \cdot 344.36^3}{3.14 \cdot 3 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 0.435}} =$$

$$= 27.91mm; e = D/15 = 1.86mm$$

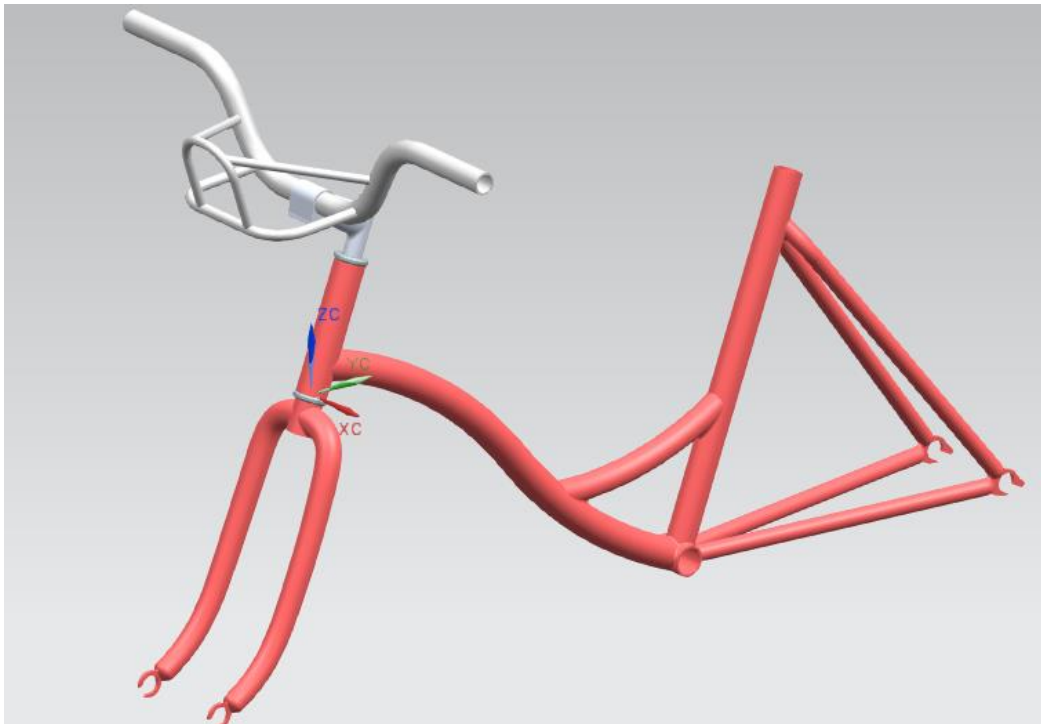
Aparece un dimensionamiento menor al generado en base a las tensiones por lo que debemos asignar como módulo resistente mínimo el realizado según las tensiones de Von Mises admisibles.

Realizados los cálculos según nuestra geometría empleada, para no sobrepasar unas tensiones de Von Mises de 305Mpa en la barra puente la sección mínima debe de ser de 29.88x1.99mm. No obstante como se comprobará en los ensayos, las tensiones de Von Mises son mayores a pesar de dimensionar con algo de margen sobre los valores mínimos del tubo (341Mpa para 32,5x2). Esto puede deberse al subestimar las tensiones axiales y cortantes puras además de no considerar todos los estados pluritensionales de los elementos ni las componentes máximas de tensión provocados por los momentos torsores por lo que se consiguen unas tensiones equivalentes menores a las reales. En cuanto a la flecha máxima no se ha tenido en cuenta la deformación angular producida por el momento torsor en la sección de unión entre la barra puente y las patas de la horquilla que también genera un desplazamiento longitudinal de las punteras por lo que los resultados serán algo mayores.

## 1.8 Estudio comparativo de los modelos

El estudio comparativo de los dos modelos se basará en la variación de propiedades que se consiguen al diseñar ciertos componentes de la nueva bicicleta. Los componentes diseñados que sustituirán a los actuales son los siguientes: horquilla, cuadro, potencia y manillar por lo estos elementos serán modelados por partida doble, en el modelo actual de bicicleta y el creado. Posteriormente los elementos diseñados serán sometidos

a los ensayos reglamentarios para verificar su calidad. El estudio de todos y cada uno de los componentes que forman la bicicleta generaría multitud de estudios que abarcarían diversos campos por lo que hemos elegido estos componentes ya que son los que definen en mayor proporción la integridad estructural de la bicicleta. Dado que no se ha dispuesto de los planos de los componentes de la bicicleta “Bicing” se han realizado unas medidas aproximadas por lo que posiblemente tengan cierto margen de error ya que no se ha tenido instrumental de precisión. Ante estas condiciones, hemos supuesto, diámetros parecidos y espesores prácticamente idénticos durante el modelado de los elementos de los dos conjuntos además de emplear el mismo material en los componentes. Con ello pretendemos mejorar la calidad de resultados observando la variación de las propiedades mecánicas de los dos conjuntos debidas únicamente al diseño de éstos, a la disposición y geometría de los tubos. Se deberían incluir las ruedas en el estudio ya que de ellas también la integridad estructural pero por falta de tiempo no han podido ser incluidas.



**Figura 84. Modelo diseñado**



**Figura 85. Modelo actual**

#### 1.8.1 Diferencias dimensionales

Componentes	Modelo actual		Modelo creado	
	Masa (Kg)	Volumen (mm3)	Masa(Kg)	Volumen(mm3)
Cuadro-horquilla	5.19	657792.63	4.55	582082.73
Potencia	0.243	91376.9	0.144	54469.49
Manillar	0.666	250735.80	0.439	165257.69
TOTAL	6.099	999905.3	5.133	801809.4

Hemos reducido el peso global de casi todo el sistema principal estructural de la bicicleta por valor de 1kg. Supone un ahorro de  $\approx 20\%$  del peso total del modelo actual. Se ha reducido la masa del conjunto del cuadro y horquilla 600g cifra significativa teniendo en cuenta el total de la pieza.

	Modelo actual			Modelo creado		
TUBO	Diámetro	Espesor	Longitud	Diámetro	Espesor	Longitud(mm)
Tubo diagonal	33	2.25	581.34	35	2.25	612.13
Tubo del sillín	33.2	2	460	32.2	2	435
Vainas	19	1.5	424.46	19	1.5	410
Tirantes	19	1.5	958.33	18.5	1.5	456.25
Tubo de dirección	35	2	144	35	2	150
Tubo del pedalier	39.5	2.5	41	38	2.5	43
Tubo estrecho horizontal	16	1.5	---	-----		
Tubo superior				28	2	248.82

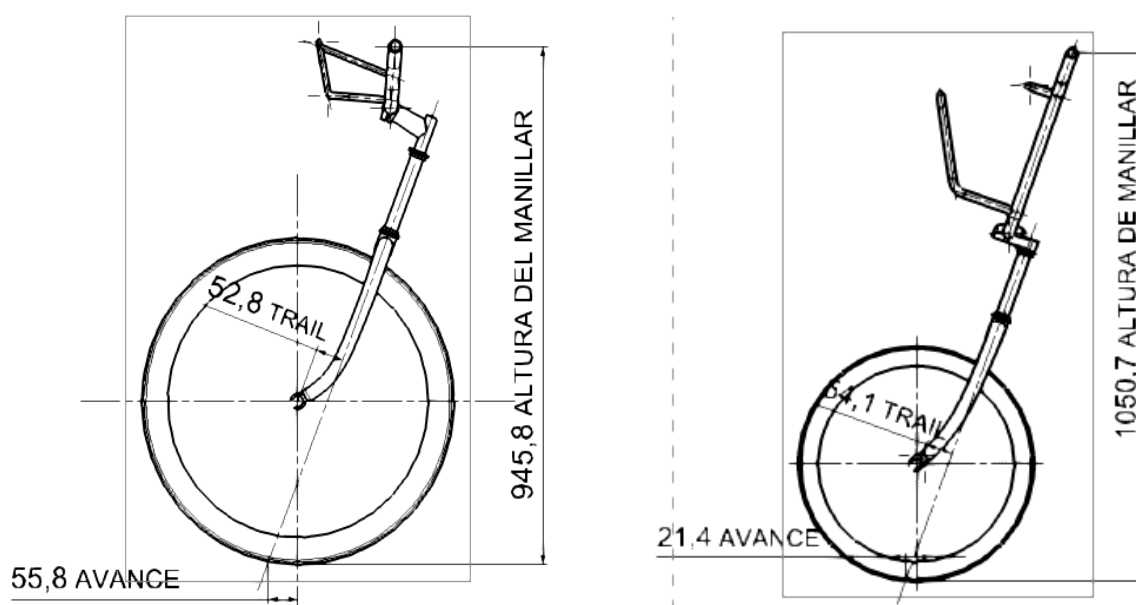
Como se ha mencionado anteriormente se ha considerado diámetros y espesores entre los tubos de los dos modelos muy parejos. La longitud de éstos sí que presenta cambios considerables ya que su distribución es distinta. Además de reducir el peso del conjunto cuadro y horquilla se ha reducido el número de soldaduras a realizar en el cuadro. Es un dato importante ya que encarece el precio final del cuadro. El cuadro actual a causa de los dos tirantes/tubos horizontales que posee, incrementa el nº de soldaduras en 3 respecto al diseñado lo cual, implica mayores costes de fabricación.

### 1.8.3 Diferencias geométricas:

	Modelo actual	Modelo creado
Angulo de avance/dirección	70	69
Ángulo del tubo del sillín	70	69
Longitud del eje trasero	457,82	406,40

Longitud del eje delantero	681.73	680.21
Avance de la horquilla / trail	59.756	52.80
Altura del eje del pedalier		
Longitud del tubo del sillín	460	435
Longitud entre ejes / batalla	1138	1086,62

Las principales diferencias residen en que hemos soldado un tubo corto entre el tubo diagonal y el tubo del sillín el cual le aporta la rigidez necesaria y las vainas también están empotradas en el tubo de sillín en vez de soldar desde el tubo de dirección hasta las punteras traseras como en el modelo actual. Otra consideración importante es la colocación de una rueda de 24" en vez de una de 20" como presenta el modelo actual, por lo tanto, la longitud de las patas de la horquilla es mayor en el nuevo modelo.



**Figura 86. Diferencias geométricas en el sistema de dirección**

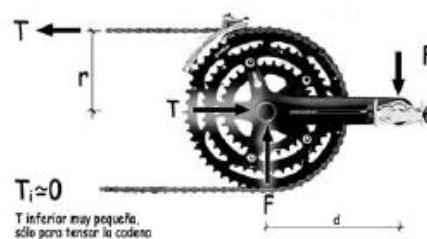
Una rueda de mayor diámetro siempre generará un avance mayor. El trail se mantenido prácticamente igual (52.8-54.1) por lo que su comportamiento ante las irregularidades del terreno será similar. Recordemos que un mayor trail aporta una mayor absorción de las irregularidades lo cual su comportamiento es más elástico. La diferencia de avance es más significativa ya que el nuevo modelo tiene más del doble de avance. Un avance largo proporcionará una conducción más estable y ergonómica. Por el contrario la bicicleta adquirirá resistencia al viraje aunque no es relevante para la conducción urbana. En cuanto a la altura de manillar existe una diferencia de unos 10 cm. Dado que las bicicletas serán empleadas por multitud de usuarios en el diseño no se puede concretar la talla por lo que los cuerpos altos serán perjudicados ya que posiblemente deban recostarse hacia el manillar. Los cuerpos bajos se beneficiarán de una altura más baja.

### 1.8.2 Estudio mecánico de los modelos

Los siguientes ensayos tienen por objetivo verificar la mejora de las propiedades mecánicas del nuevo cuadro respecto al modelo actual. El conjunto del cuadro y la horquilla junto con el sistema de dirección de la bicicleta debe ofrecer, además de soportar las cargas habituales de trabajo, rigidez estructural para evitar la deformación elástica material y con ello la pérdida de energía motriz generado por el pedaleo del ciclista y elasticidad para que el cuadro sea capaz de absorber las vibraciones causadas por las imperfecciones del terreno y ofrecer una conducción ergonómica y confortable. Los espesores de los distintos tubos del cuadro de los dos modelos se han considerado casi iguales, respectivamente, sin grandes diferencias de dimensión entre ellos, con variaciones de alguna décima de mm de espesor. Con ello, pretendemos extraer conclusiones más significativas sobre la influencia del diseño en las propiedades de rigidez y elasticidad de los modelos.

#### 1.8.2.1 Fuerzas tractoras:

El esfuerzo humano que genera el ciclista se traduce como cargas en el eje del pedalier del cuadro. Si aislamos el subconjunto formado por pedal-biela-plato-cadena y el eje que lo conecta al cuadro se observa que la fuerza  $F$  aplicada al pedal suponiendo-lo paralelo al suelo induce en la parte superior de la cadena una tracción  $T$  que la equilibra. En consecuencia la tracción de la cadena genera una reacción igual y opuesta al eje del pedalier el cual transmitirá esa carga al tubo del pedalier del cuadro. Por tanto durante el pedaleo se generan dos fuerzas, una vertical perpendicular al suelo (suponiendo las bielas paralelas al suelo) y una horizontal paralela al suelo en el eje del pedalier lo cual serán transmitidas al cuadro a través del tubo del pedalier. La rigidez de la bicicleta adquiere vital importancia en la zona del cuadro alojada entre el tubo del pedalier y el manillar. En ella se solicitan los tubos debido al esfuerzo de pedaleo del ciclista. Por ello cuanto menores sean las deformaciones generadas mayor será el aprovechamiento energético de la bicicleta. Al ser mayores, mayor energía se ha empleado en deformar el material y menores en acelerar la bicicleta.



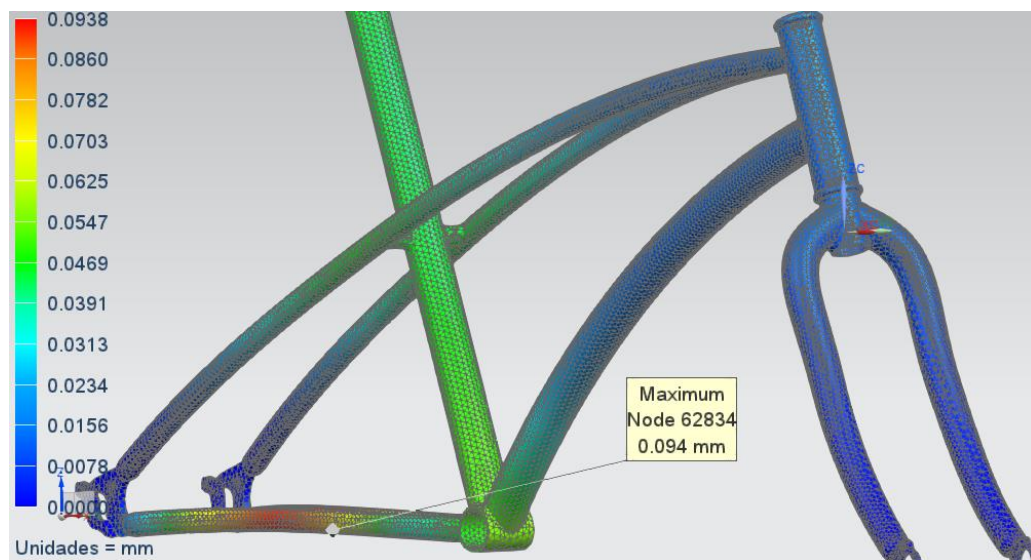
Considerando una fuerza introducida por el pedaleo del ciclista de 1000N (en general son de menor magnitud pero establecemos un margen de seguridad, una longitud de biela común de 17,5cm y un diámetro de plato de 20cm (aproximadamente 32 dientes), la tracción en la cadena sería de:



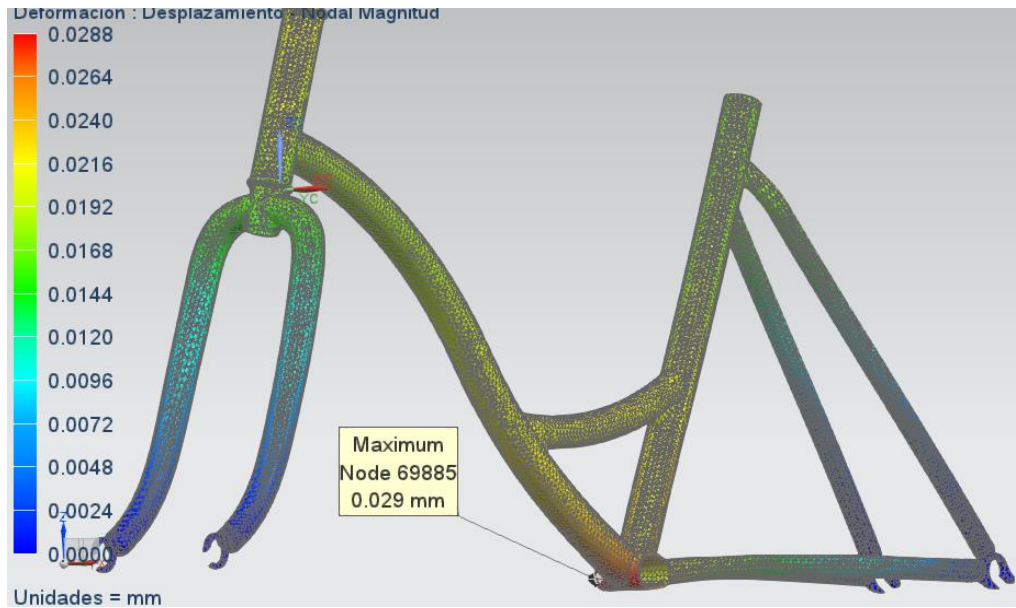
$$T = \frac{1000N * 17.5cm}{10cm} = 1750N$$

Por tanto, la fuerza tractora que generará la aceleración transversal de la bicicleta será de 1750. Exceptuaremos en el estudio la fuerza normal al suelo en reacción a la fuerzas del pedaleo que se genera también en el tubo del pedalier.

#### 1.8.2.1.1 Resultados:

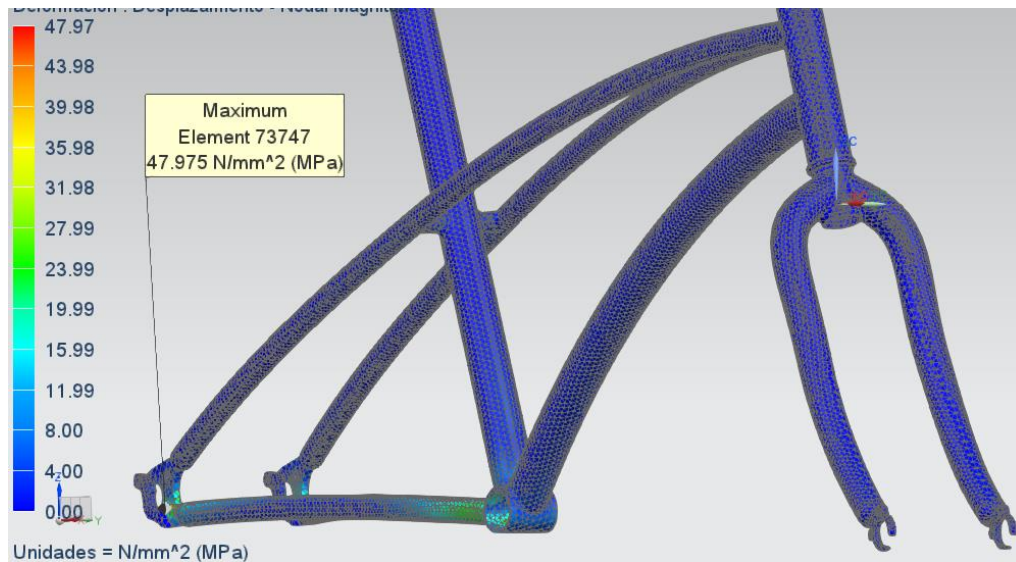


**Figura 87. Desplazamientos nodales (mm) en cuadro actual. Fuerzas tractoras**

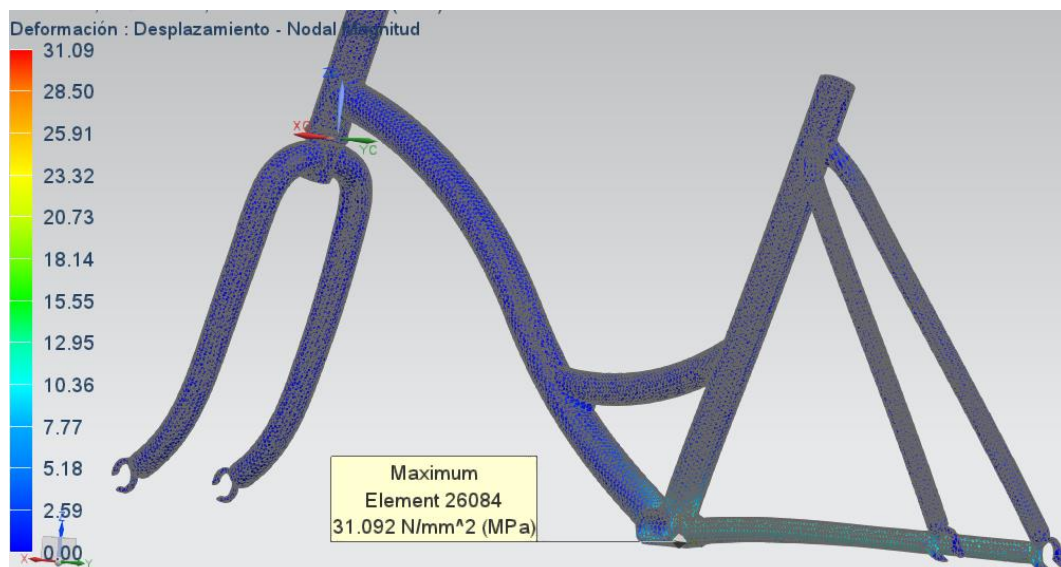


**Figura 88. Desplazamientos nodales mm en cuadro diseñado. Fuerzas tractoras**

Los desplazamientos mostrados en las figuras anteriores así como de los siguientes ensayos son en magnitud teniendo en cuenta los tres ejes de coordenadas espaciales. En el conjunto diseñado los desplazamientos máximos aparecen en el tubo del pedalier con valor máximo de 0.029mm mientras que en el conjunto actual los desplazamientos aparecen en las vainas traseras con valor de 0.094mm. La razón se debe en parte al acortamiento de la longitud de las vainas traseras, ya que hemos acortado una distancia de 150mm aproximadamente en el nuevo modelo, lo cual le aporta una mayor rigidez axial. Otra peculiaridad también es la escasa rigidez de los tirantes/tubos horizontales del conjunto actual dado que poseen la sección más pequeña del conjunto y la mayor longitud con lo cual presentan también deformaciones ante cargas tractoras. No se puede observar con claridad, pero el volumen cercano al tubo del sillín de estos dos tubos horizontales que actúan también como vainas del “Bicing” está coloreado en verde lo cual significa que presenta deformaciones de  $\approx 0.05\text{mm}$ , 1,6 veces superior al máximo presentado por el conjunto diseñado. La disposición de estos tubos no aporta rigidez al grupo. El comportamiento del conjunto actual tiende a ser elástico mientras que el diseñado presenta una mejoría en cuanto a rigidez bajo cargas tractoras se refiere.



**Figura 89. Tensiones elementales (Mpa) conjunto actual**



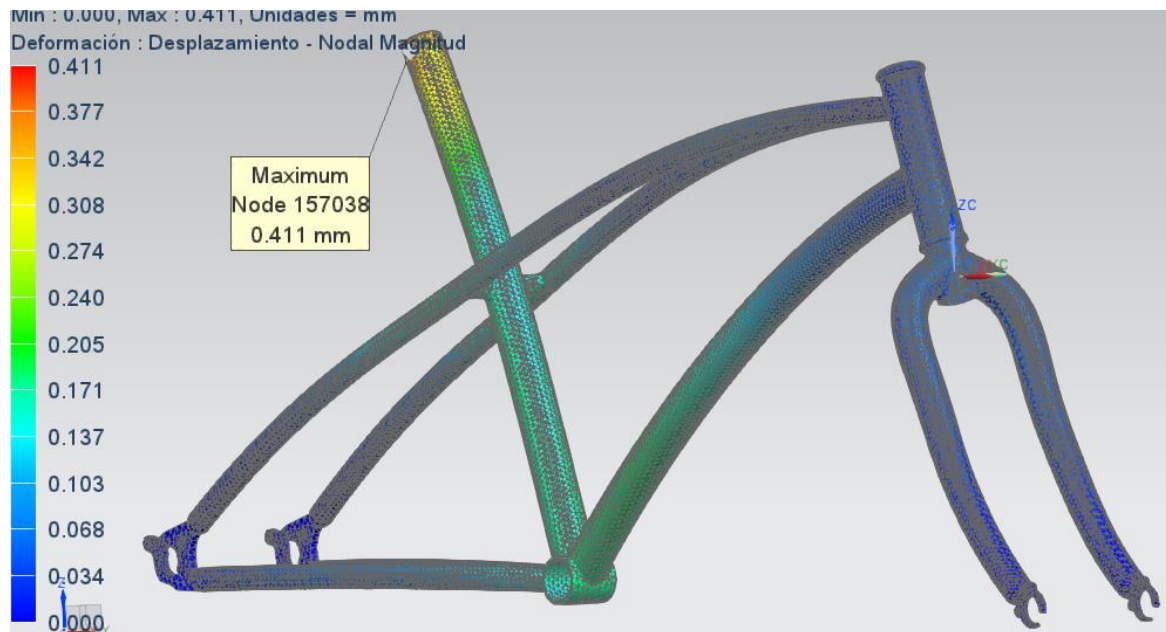
**Figura 90. Tensiones elementales (Mpa) conjunto actual**

Las tensiones del cuadro actual y el diseñado son **47.975Mpa** y **31.092 Mpa** respectivamente. Hemos reducido las tensiones de un cuadro respecto a otro lo cual beneficiará al conjunto en los esfuerzos a fatiga del material siendo más duradero a cargas cíclicas ya que hemos reducido tanto la amplitud de deformaciones como la de tensiones.

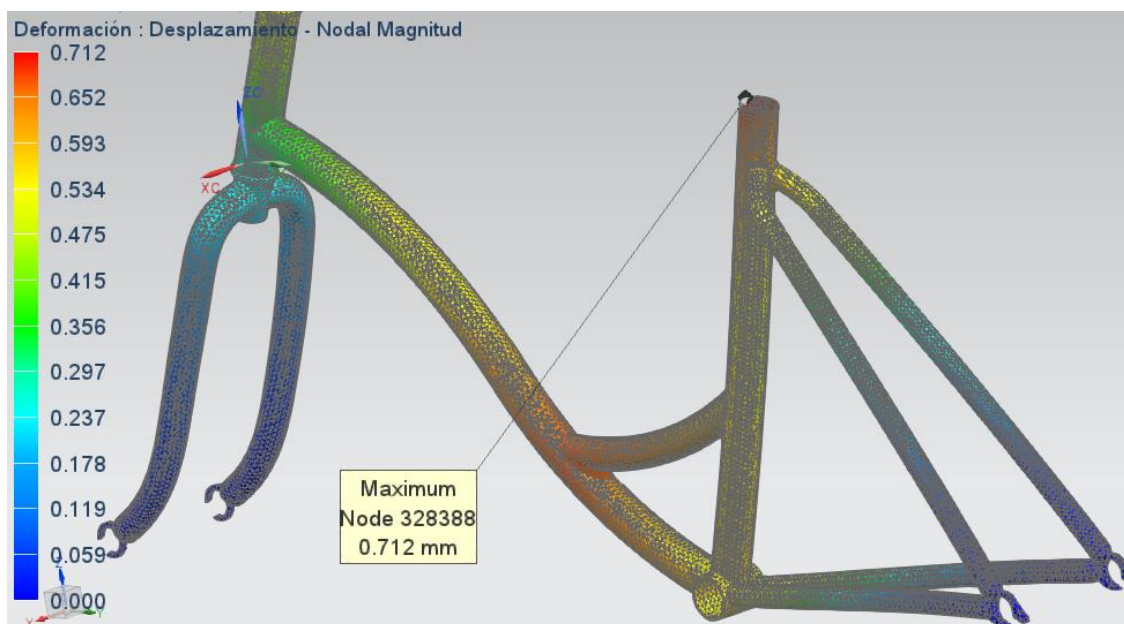
#### 1.8.2.2 Fuerzas gravitatorias:

Entendemos por fuerzas gravitatorias las debidas al peso de los cuerpos. En este caso supondremos una carga gravitatoria debida al peso del ciclista. Comprobaremos la rigidez de los modelos en la dirección y sentido de la carga para extraer las conclusiones oportunas. Supondremos una carga de 1000N (lo cual equivaldría a un cuerpo de 100 kg montado en la bicicleta).

#### 1.8.2.2.1 Resultados:

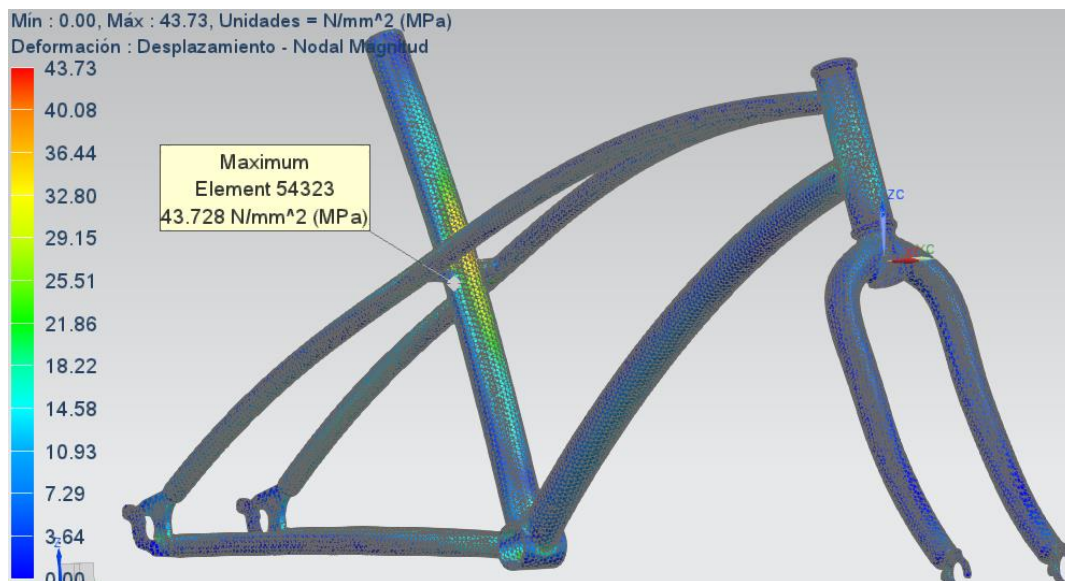


**Figura 91. Desplazamientos nodales mm en cuadro actual. Fuerzas gravitatorias**

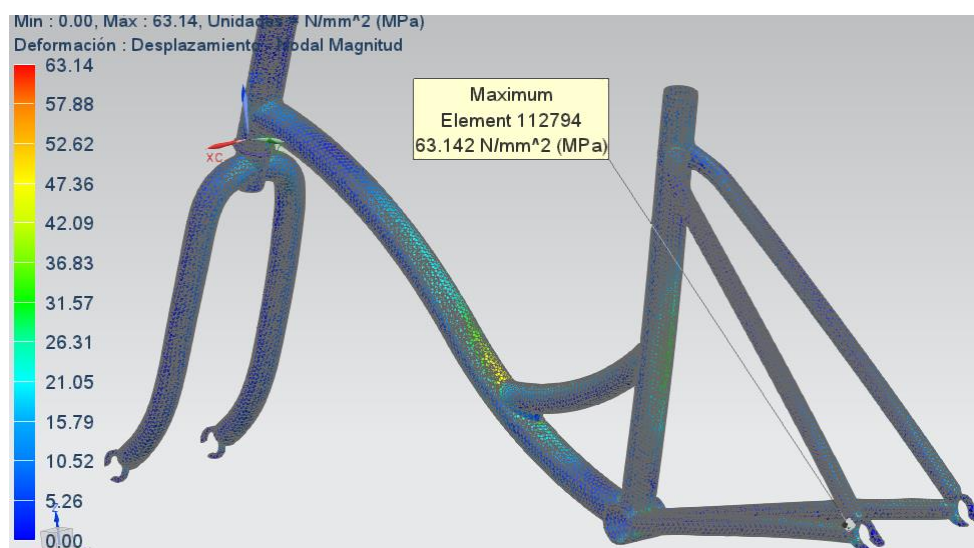


**Figura 92. Desplazamientos nodales mm en cuadro diseñado. Fuerzas gravitatorias**





**Figura 93. Tensiones elementales (Mpa) conjunto actual. Fuerzas gravitatorias**



**Figura 94. Tensiones elementales (Mpa) conjunto diseñado. Fuerzas gravitatorias**

Finalizado el ensayo apreciamos que la rigidez este caso del conjunto actual es algo mayor en comparación con el cuadro. Tanto en el conjunto actual como el diseñado los desplazamientos máximos se producen en el extremo libre del manillar, justo en la sección donde se ha aplicado la fuerza, donde la flecha es máxima del tubo del sillín. No obstante el valor de estos desplazamientos es para el conjunto actual y diseñado, respectivamente, 0.411mm y 0.712mm. Las tensiones en cambio son 43.728Mpa y 63.142Mpa. En el conjunto diseñado aparecen en la soldadura de las punteras traseras mientras que en el conjunto actual

aparecen en el tubo corto estrecho que está soldado al tubo del sillín y los dos tirantes/tubos horizontales. A partir de los resultados podemos decir que adquiere una mayor rigidez ante cargas gravitatorias el conjunto actual. No obstante, a diferencia de las cargas tractoras, la rigidez en este caso no afecta a la eficiencia energética del conjunto por lo que no es tan relevante en este. Las tensiones son algo mayores en el diseñado con valores de un 20% mayor aproximadamente. Éstas están muy alejadas aún de los límites elásticos del material por lo que no son determinantes. No obstante el fatigado ante cargas gravitatorias para el modelo actual será mayor dado la menor amplitud de tensiones y deformaciones.

## 1.9 Conclusiones

Gracias a la realización del siguiente proyecto se ha podido profundizar en lo referente al diseño de bicicletas. Toda bicicleta requiere de un equilibrio entre sus propiedades mecánicas, es decir, si creamos algo muy rígido éste se comportará de forma muy frágil por lo que no absorberá las irregularidades del terreno en forma de deformaciones y resultará terriblemente incómodo para el ciclista. La ventaja de una excesiva rigidez es la de su eficiencia en cuanto al aprovechamiento de la energía aportada por el ciclista; una mayor rigidez no generará deformaciones durante el pedaleo, lo cual significa que no ha habido trabajo de deformación y por tanto la energía está aprovechada para acelerar al conjunto. Por el contrario una deficiencia de rigidez generará un comportamiento más amortiguado y muy poco eficiente en cuanto al aprovechamiento energético del ciclista. El uso al que esté destinada la bicicleta determinará la balanza entre una u otra; una bicicleta de carretera, ciclo-turismo o urbana por ejemplo están destinadas a usarse en terreno favorable por lo que la prioridad es la rigidez ante la elasticidad de la estructura. En cambio una bicicleta de montaña destinada a usarse en terrenos muy desfavorables con irregularidades en la que se realizan saltos o frenadas bruscas la prioridad es un comportamiento elástico y amortiguado. Por ello es frecuente el uso de suspensiones tanto en los ejes delanteros y traseros. Cuando el peso es un factor importante entra en escena el tipo de material empleado. Existen materiales con densidades 3 y 4 veces al acero capaces de ofrecer las mismas propiedades de rigidez. En general cuando el peso no es un factor determinante y si lo es el coste final del producto la elección habitual suelen ser los aceros dulces. Materiales como el aluminio, titanio o la fibra de carbono ofrecen densidades de 3 y 4 veces inferior al acero. Son capaces de ofrecer las mismas propiedades de rigidez que el acero pero resultan excesivamente caros y se reservan para la competición o bicicletas de alta gama. No obstante la elección de un material con unas propiedades mecánicas excelentes no determinará del todo la calidad final del conjunto. El estudio hecho nos ha demostrado que las solicitaciones preocupantes aparecen en las soldaduras entre los tubos y que en la totalidad de su longitud los tubos están escasamente solicitados. Esto es debido a las cargas de flexión que alcanzan los momentos máximos en la unión de tubos. Las cargas por flexión son las más preocupantes ya que se ha visto que el dimensionamiento a cargas axiales es mucho más que suficiente en las bicicletas. Por ello algunas marcas tienden a conificar los tubos estrechando su espesor en el centro de los tubos y aumentándolo en la zona de soldadura. Otra de las razones de esta tendencia es la de aligerar y la de prevenir cualquier debilidad producida en esa zona durante la soldadura.

Mediante los ensayos realizados se ha podido ajustar de los resultados bajo los requisitos de ensayo impuestos por la normativa UNE EN-17464 intentando comprobar los estados últimos del material rozando la rotura de éste. Lo ajustado de los resultados en algunos casos muestra la destructividad de los ensayos.

Mediante estos ensayos hemos podido comprobar que las mayores cargas a fatiga que padece el cuadro son debidas al pedaleo. Esto demuestra la importancia del tubo del pedalier que concentra tensiones elevadas debidas al pedaleo. Las cargas habituales de ensayo corresponden a fuerzas de 1000-1500N que en condiciones habituales de uso de la bicicleta supondrían de magnitudes mayormente inferiores por lo que su dimensionamiento se basa en la capacidad para soportar fuerzas que podrían aparecer en condiciones de choque.

En cuanto a la calidad de los resultados podemos considerar cierto margen de error. Hemos subestimado las características de la soldadura y con ello nos referimos tanto a su espesor como el material y el efecto que genera en él. Para sustituir esto hemos generado redondeos entre los tubos de espesores parecidos a los tubos en cuestión para simular el material aportado por la soldadura, por lo que esa soldadura se supondrá del mismo material base. Parte de ese posible margen de error también es causado por no definir las propiedades entre el contacto superficie-superficie de las piezas durante los ensayos. Estos eventos los hemos definido como si fueran piezas encoladas sin considerar fricciones, penetraciones y las tolerancias de fabricación de los componentes. En cuanto al aprendizaje del software, a pesar de no disponer de toda la información necesaria, hemos podido aprender que información es la necesaria, cual el resultante de los ensayos y cuáles son las pautas de trabajo para realización de ensayos CAE

## 2. Pliego de condiciones

### 2.1 Normativa aplicada

Para la validación de los componentes diseñados en el nuevo modelo de bicicleta del servicio público del Bicing se ha seguido la reglamentación correspondiente a la norma UNE –EN 14764 la cual especifica los requisitos de seguridad y las prestaciones relativas al diseño, montaje y los ensayos de las bicicletas y de sus subconjuntos concebidas para su utilización en las vías públicas.

Para la aplicación de esta norma es indispensable el uso de las siguientes normas:

- Pr EN 14872 Bicicletas. Accesorios para bicicletas. Portaequipajes
- ISO 5775-1 Neumáticos y llantas de bicicleta; Designaciones y dimensiones de los neumáticos
- ISO 5775-2 Neumáticos y llantas de bicicleta; llantas
- ISO 7636 Timbres para ciclos y ciclomotores. Especificaciones técnicas
- ISO 9633 Cadenas para ciclos. Características y métodos de ensayo.

## 2.2 Materiales:

### 2.2.1 Cuadro-horquilla:

Entre los materiales disponibles para la fabricación del nuevo cuadro y horquilla el acero es el más idóneo para nuestra causa. Necesitamos un modelo estructural duradero dado que las bicicletas están destinadas a un uso casi continuo durante el transcurso del día por multitud de usuarios, económico ya que es un servicio público con alta disponibilidad y que su mantenimiento y reparación sea sencillo y poco costoso. Los aceros nos aportan las cualidades necesarias para el diseño de los nuevos componentes. Resultan económicos, altamente disponibles, fáciles de reparar mediante soldadura y la vida a fatiga del acero es mayor en comparación con los otros materiales empleados.

Los aceros empleados usualmente para la fabricación de cuadros suelen ser los aceros aleados Cromo-molibdeno, los aceros “Hi ten” y los aceros dulces. Los aceros aleados al Cromo-Molibdeno, también llamados “Chromoly” tienen una gran resistencia mecánica y rigidez y en los casos en los que el peso es un factor importante como en la competición resulta adecuado. Son los aceros de mayor coste. Los aceros Hi ten o de bajo contenido de carbono pueden resultar más económicos en comparación con los aceros al Cromo-molibdeno. Para aplicaciones con estructuras soldadas resulta mejor este tipo de aleaciones de acero. Para la fabricación del cuadro y la horquilla del nuevo modelo se empleará el material **AISI-SAE 1010** según designación AISI SAE.

En el sistema AISI-SAE, los aceros se clasifican con cuatro dígitos. El primer dígito especifica la aleación principal, el segundo modifica al primero y los dos últimos dígitos, dan la cantidad de carbono en centésimas. En algunos aceros al cromo de alto carbono hay números de cinco dígitos, los tres últimos dan el porcentaje de carbono. La siguiente tabla muestra los diferentes aceros según este sistema:

DESIGNACIÓN	TIPO
10XX	Aceros ordinarios al carbón
11XX	Aceros al carbono re sulfurados de fácil maquinado
13XX	Aceros con 1,75% de Mn (1,5%-2%)
15XX	Aceros al manganeso (1,0-1,65%)
23XX	Aceros al níquel, 3,5% de Ni (3,25-3,75%)
25XX	Aceros al níquel, 5% de Ni (4,75-5,25%)
31XX	Aceros al Níquel-Cromo, 1,25% Ni y 0,65% Cr
33XX	Aceros al Níquel-Cromo, 3,5% Ni y 1,60% Cr
40XX	Aceros al molibdeno, 0,25% Mo
41XX	Aceros con Cr (0,4-1,2%), Mo (0,08-0,25%)



43XX	Aceros al Ni-Cr-Mo (1,8%Ni, 0,65% Cr, 0,25% Mo)
44XX	Molibdeno (0,4%-0,53%)
45XX	Molibdeno (0,55%)
46XX	Níquel-Molibdeno (1,8%Ni, 0,2% Mo)
47XX	Níquel-Cromo-Molibdeno (1,05% Ni, 0,45%Cr, 0,2% Mo)
48XX	Níquel-Molibdeno (3,5% Ni, 0,25% Mo)
50XX	Aceros al Cromo (bajo Cromo 0,28-0,40%)
51XX	Medio Cromo (0,8-1,05%)
50XXX	Acero resistente al desgaste 0,5%Cr
51XXX	Acero resistente al desgaste medio Cr1%
52XXX	Acero resistente al desgaste alto Cr 1,45%
61XX	Aceros al Cromo-Vanadio (0,75%Cr, 0,15%V)
8XXX	Aceros de triple aleación
81XX	0,3%Ni, 0,40% Cr, 0,12%Mo
86XX	0,55%Ni, 0,50% Cr, 0,20%Mo
87XX	0,55%Ni, 0,50% Cr, 0,25%Mo
88XX	0,55%Ni, 0,50% Cr, 0,35%Mo
92XX	Acero al Silicio-Manganeso (2% Si y 0,8%Mn)
93XX	Aceros de triple aleación 3,25%Ni 1,2%Cr, 0,12% Mo
XXBXX	Aceros de triple aleación 1%Ni 0,8%Cr 0,25% Mo
50BXX	0,5%Cr
51BXX	0,8%Cr
81BXX	0,3%Ni 0,45%Cr, 0,12% Mo
XXBVXX	Acero con plomo
XXLXX	Acero con banda de templabilidad
XXXH	Nuevos tipos de acero con designación temporal

Los aceros AISI 1010 corresponden a aceros vulgarmente llamados aceros dulces o de bajo tenor de carbono con un contenido de carbono (0.10%) Puede ser endurecida por tratamiento térmico. Se puede realizar

conformado en frío fácilmente con esta aleación. El uso de tratamientos térmicos sobre la aleación modifica sus propiedades básicas de dureza y resistencia mecánica.

Normas equivalentes					
AFNOR (Fr)	BS (Ingl)	DIN (Alem)	JIS	UNI	Grado thyssen
XC10	040X10	10301	S10C	C10	XC10

Composición química:

SAE (%)	C	Mn	P	S
1010	0.10	0.30-0.60	<0.035	<0.04

Propiedades mecánicas:

Densidad	$7.90 \cdot 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup>
Módulo de Young	210000 N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	305 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia máxima a la tracción	365 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28
Coefficiente de resistencia a la fatiga	770 N/mm <sup>2</sup>
Exponente de resistencia a la fatiga	-0.139
Coefficiente de ductilidad a fatiga	0.174
Exponente de ductilidad a fatiga	-0.415
Coefficiente dilatación térmica	$1.50 \times 10^{-5}$
Conductividad térmica	65.2W/mk
Calor específico	450 J/kg-K

### 2.2.2 Manillar y potencia

Para la fabricación del nuevo manillar y potencia se ha optado por el aluminio **5086** según nomenclatura del sistema AISI-SAE. En el sistema AISI-SAE, los aluminios se clasifican también por cuatro dígitos como los aceros. El primer dígito especifica la aleación principal. Los demás dígitos que designan la serie indican la aleación específica de aluminio o la pureza de éste y designan los aleantes minoritarios. Suelen añadirse además de las 4 cifras comunes, seguidas de un guion de letras con un número que indican si ese aluminio ha recibido algún tratamiento térmico. Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grandes grupos, que son, forja y fundición. Esta división se corresponde con el tipo de proceso de conformado a que pueden ser sometidas las aleaciones de aluminio. Dentro del grupo de las aleaciones de aluminio de forja existe otra división en otros dos subgrupos, las aleaciones tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las aleaciones no tratables térmicamente sólo pueden aumentar su resistencia si son trabajadas en frío. Dentro de las aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico las series principales son:

DESIGNACIÓN	TIPO
1XXX	Son aleaciones de aluminio técnicamente puro, al 99,9% siendo sus principales impurezas el hierro y el silicio como elemento aleante. Se les aporta un 0.1% de cobre para aumentar su resistencia
3XXX	el principal elemento aleante es el Mn que está presente en un 1,2% y tiene como objetivo reforzar al aluminio
5XXX	El magnesio (Mg) es el principal componente aleante su aporte varía del 2 al 5% a veces también se añaden pequeñas cantidades de Mn cuyo objetivo es el de endurecer el aluminio.

Dentro de las aleaciones de aluminio forjado que son tratables térmicamente, las series principales son:

DESIGNACIÓN	TIPO
2XXX	El principal aleante de este grupo de aleaciones es el cobre (Cu), aunque también contienen magnesio Mg
6XXX	Se usan como elementos aleantes el Mg y el Si en proporciones adecuadas para que se forme el Mg <sub>2</sub> Si lo cual permite tratar a estos aluminios térmicamente
7XXX	Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son zinc, magnesio y cobre. El Zinc es el elemento aleante en mayor proporción en estas aleaciones. También es normal añadir otros elementos aleantes como Cr

Al aluminio 5086, corresponde, por tanto, a un aluminio forjado no tratado térmicamente con el Magnesio como aleación principal. Tiene aplicaciones en la industria naval, carrocerías de vehículos, estructuras y tubos para bicicleta.

SAE (%)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
5086	<0.40	<0.50	<0.10	0.20-0.70	3.50-4.50	0.05-0.25	0.25	>0.15

Densidad	$2.66 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Módulo de Young	72000 N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	217 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia máxima a la tracción	290 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33
Coefficiente de resistencia a la fatiga	491
Exponente de resistencia a la fatiga	-0.081
Coefficiente de ductilidad a fatiga	0.118
Exponente de ductilidad a fatiga	-0.578
Coefficiente dilatación térmica	$2.5 \times 10^{-5}$
Conductividad térmica	117000 microW/mm-C
Calor específico	900000000 microj/kg-K

### 2.2.2 Rodamientos:

El material asignado a las geometrías aproximadas de los rodamientos será el AISI 4340. Es un tipo de acero de buena templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga empleado usualmente para la fabricación de los elementos que forman los rodamientos. Ideales para fabricar piezas expuestas a tracción, flexión y torsión con altos esfuerzos mecánicos y dinámicos.

SAE (%)	C	Mn	S	P
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	<0.04	<0.035

Densidad	$7.85 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$
Módulo de Young	72000 N/mm <sup>2</sup>

Límite elástico	1178 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia máxima a la tracción	1240 N/mm <sup>2</sup>
Coeficiente de Poisson	0.284
Coeficiente de resistencia a la fatiga	1917 N/mm <sup>2</sup>
Exponente de resistencia a la fatiga	-0.099
Coeficiente de ductilidad a fatiga	1.122
Exponente de ductilidad a fatiga	-0.72
Coeficiente dilatación térmica	$1.23 \times 10^{-5}$
Conductividad térmica	44500microW/mm-C
Calor específico	750000000microj/kg-K

## 2.3 Fabricación

### 2.3.1 Manillar y potencia:

La fabricación del manillar y de la potencia se realizará mediante el conformado en frío del aluminio, más concretamente por extrusión. El aluminio es el metal ideal para la extrusión, los productos de aluminio extruidos representan más del 50% de los totales. La ventaja de esto respecto a la extrusión en caliente es la falta de oxidación traducida en una mayor fortaleza debido al trabajo en frío, buen acabado de superficie. La facilidad o dificultad de extrusión de un perfil de aluminio viene determinado por la siguiente tabla

Aleación	Extrusionabilidad
1080	160
1050	135
1200	135
3003	120
6060-6063	100
6082	60
2011	35
5086	25
2014	20

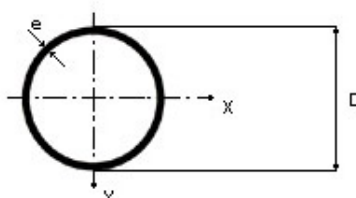
5083	20
2024	15

Por un tanto las aleaciones con alto índice de extrusionabilidad, por ser muy blandas y no poderse endurecer por tratamiento térmico, harían que los perfiles que se pudiesen obtener se deformaran en su manipulación, además de no poder mantener las formas del diseño. En las aleaciones duras, su baja extrusionabilidad hace que el aluminio no fluya bien y por lo tanto no se puedan realizar perfiles de secciones complejas. Además de su baja productividad, este tipo de aleaciones requiere tratamientos térmicos de temple y maduración con un control muy estricto que hace también que en los perfiles de secciones sencillas el precio sea mayor. Nuestra aleación de aluminio corresponde a las no tratadas térmicamente con un 20% de extrusionabilidad. Las dificultades de extrusionabilidad encarecerán el coste final de la producción de la potencia y manillar.

### 2.3.2 Cuadro-horquilla:

El conformado de las piezas tubulares del conjunto cuadro-horquilla se realizará mediante el conformado en frío de los aceros del carbono. El concepto de conformado en frío comprende todos los métodos de fabricación que permiten deformar plásticamente (a temperatura ambiente y ejerciendo una presión elevada) metales y aleaciones de metales pero sin modificar el volumen, peso o propiedades esenciales del material. Los productos de acero conformado en frío son creados por el trabajo de chapa de acero laminado y se presiona para deformar la hoja en un producto utilizable. Debido al endurecimiento por deformación el material adquirirá una resistencia y dureza superior en comparación con el conformado en caliente.

Los tubos elegidos para la fabricación del cuadro y horquilla serán de sección redonda constante. Como se ha mencionado, las cargas preocupantes en el diseño de los tubos de la bicicleta son las debidas a la flexión y si consideramos las flexiones multi-axiales que sufren los distintos tubos del cuadro y horquilla éstos son los más adecuados. Para los casos de flexión uni-axial sería más recomendable el uso de secciones rectangulares. Considerando los esfuerzos totalmente axiales las secciones huecas redondas son también las más eficientes. En nuestro caso, el uso de tubos no circulares para fabricar el cuadro de bicicleta afectaría a la estética final del producto por lo que no resulta adecuado su uso.



Existen dos tipos de producción de aceros en forma tubular; una es con costura y otra sin costura. Los tubos de acero sin soldadura requieren de un molde de extrusión. Los aceros soldados se producen por laminación

de una hoja. Resulta más económico un acero tubular soldado pero emplearemos los aceros sin costura para la fabricación de los tubos.



**Figura 95. Prensas modernas de extrusión en frío**

Por lo general se suelen emplear aceros sin costura para la fabricación de bicicletas por lo que mantendremos la línea. Éstos presentan una serie de ventajas respecto a los de costura.

*Uniformidad:* Debido a que las tuberías de acero sin costura son una extrusión continua de la aleación, se aprovecha de la verdadera redondez de la circunferencia. El tubo de costura soldada invariablemente no es tan redondo en el área de la sección transversal como un tubo de acero sin costura, porque la tubería soldada se envuelve alrededor de otra forma antes de la soldadura. La soldadura suma calor y el equipo suma estrés para mantener el tubo junto. Este proceso introduce variables que permiten la deformación de la redondez. Los tubos sin costura mantienen la sección transversal redonda, lo cual es importante durante la instalación y la adición de accesorios de tubería.

*Cargas bajo fuerza:* A pesar de que los tubos de acero sin soldadura son los más caros, son los más confiables con menos puntos de falla. Debido a esto, los cálculos de presión son más fáciles de realizar debido a que la calidad de la soldadura está fuera de la ecuación. Otra ventaja de usar tubos de acero sin costura es su fuerza bajo carga. El tubo vacío tiene un cierto peso que debe apoyarse sobre períodos largos. Cuando la tubería comienza el transporte de material, el peso del material también debe ser tomado en cuenta. La tubería de acero sin costura tiene ventajas en comparación con la fuerza de los tubos con costura. La mayoría de las fallas y fugas de las tuberías se producen en la costura soldada.

La fabricación del cuadro y la horquilla consistirá en un sistema de varias etapas que se describen a continuación.

- Corte de los tubos
- Curvado de los tubos
- Soldadura
- Pintado

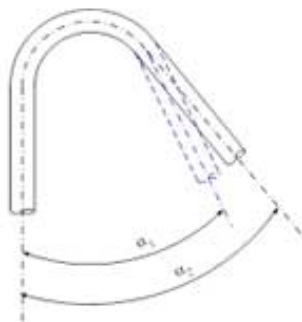
#### 2.3.2.1 Corte de los tubos:

El corte de los tubos de acero puede realizarse por serraje o mediante un soplete oxiacetilénico. El serraje puede realizarse por distintas maquinarias tales como sierras circulares manuales, sierras eléctricas o rectificadoras. El método por serraje es un método más simple de ejecutar y económico por lo que realizaremos el corte de los tubos mediante este método, concretamente con una sierra manual circular de mesa. Los pasos a seguir son:

- Marca el tubo en el punto donde queremos cortarlo. La mesa con sierra utiliza una cuchilla de cinta continua, ya sea en un plano horizontal o vertical, para cortar un tubo con la abrazadera.
- Colocarse las gafas y guantes de protección. Encienda la sierra y coloca el tubo descansando justo enfrente de la hoja en funcionamiento
- Apoya una mano a cada lado del tubo asegurándose de mantener los dedos fuera del camino de la hoja y empujando el tubo a través de la sierra.

#### 2.3.2.2 *Curvado de los tubos:*

El curvado se define como la deformación plástica o permanente que sufre un material tras aplicar sobre el mismo un determinado esfuerzo flector. La deformación plástica se produce tras sobrepasar la tensión de fluencia propia de cada material. Como la deformación elástica es reversible, el material recupera parte de su forma inicial tras el curvado. Debido a sus propiedades elásticas, la pieza disminuirá su ángulo de curvado final ( $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2$ ). La suma de ambos procesos genera una serie de fenómenos colaterales, como la reducción del ángulo de curvado, elongación del tubo, ovalización de la sección y pérdida de espesor. Esta pérdida de ángulo es mayor para radios más pequeños, materiales más gruesos, ángulos de doblez más grandes y materiales endurecidos. Por lo general se devuelven entre 2 i 4 °. Por ello en curvaturas de precisión debemos realizar un ángulo más cerrado del deseado para que después de la recuperación elástica la pieza tenga la forma deseada.



Generalmente suele hacerse en frío a no ser que trabajemos con espesores muy gruesos. Para determinar el grado de complejidad para el curvado de un tubo debemos tener en cuenta:

- Curvavilidad de los tubos: la aptitud de un tubo para curvarse dependerá de su capacidad de elongación.
- El radio de curvado: el radio de curvado debe ser proporcional al radio del tubo. La complejidad del curvado depende esencialmente de la relación entre el diámetro exterior del tubo ( $\varnothing_e$ ) y el radio de curvado después del proceso. A esto se le conoce como factor de curvatura ( $F_c$ ), el cual sirve para hallar el radio mínimo que se le suele dar al material sin afectarlo con hendiduras, grietas o arrugas.



La fórmula para establecer el factor de curvatura sería  $F_c = R_c / \varnothing e$ . Los valores entre 1 y 2 muestran que el doblado será de alta dificultad por lo que será necesario herramientas de soporte tales como mandriles, herramienta empleada para apoyar el interior del tubo y mejorar la calidad de la curva. Los valores recomendados se comprenden entre 2,5 y 3,5, el cual la curvatura se considera simple. Comprobaremos la dificultad de doblez de los tubos que permanecen doblados en nuestro cuadro.

- Las partes rectas: son las longitudes de tubo entre los codos que permiten apretar este último en la forma y enrollarlo alrededor de ésta. Deben ser iguales a aproximadamente 2D.
- La relación D/e: cuanto menor sea, más fácil será el curvado y menos compleja será la herramienta necesaria.

TUBO	D/e	Fc	Uso de mandriles
Tubo horizontal	28/2=14	375/28=13.39	NO
Tubo diagonal	35/2.25 =15.55	500/28=17.85	NO
Tirantes	18.5/1.5 =12.33	63.8/18.5=3.44	NO

La tabla anterior muestra que los procesos de curvado de los tubos serán sencillos dado que estamos trabajando curvaturas poco pronunciadas con secciones relativamente pequeñas.

En cuanto a la maquinaria empleada, ésta deberá generar un momento flector superior al momento resistente del material. Para elegir la máquina adecuada deberemos calcular el tubo con el mayor módulo resistente del cuadro que deba curvarse y seleccionar una máquina capaz de generar el momento flector necesario. Tomaremos como valor de referencia su resistencia máxima a tracción. El tubo con una relación D/e que deba curvarse es el tubo horizontal por lo que para estimar la máquina adecuada tomaremos como referencia este tubo, el cual tiene un D=35mm i un e=2.25 mm

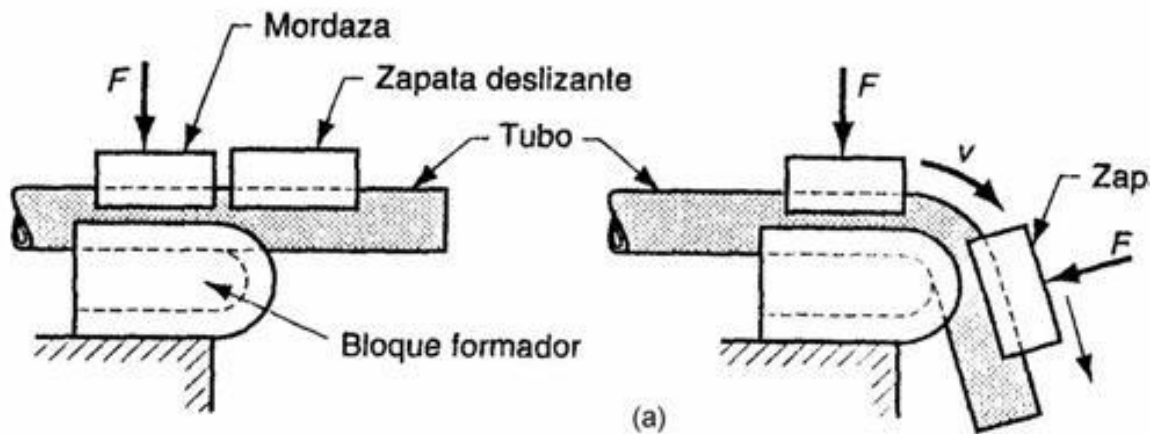
$$w = \frac{\pi}{32} \left( \frac{D^4 - (D - 2e)^4}{D} \right) = \frac{\pi}{32} \left( \frac{35^4 - (35 - 2 * 2.25)^4}{35} \right) = 1781,85 mm^3$$

$$M_{fmax} = R_t * w = 1781.85 mm^3 * 369 \frac{N}{mm^2} = 657.5 * 10^3 Nmm = 657.5 Nm$$

La maquinaria empleada deberá generar un mínimo de 657.5Nm para poder curvar los tubos del nuevo cuadro.

Existen distintos métodos para el curvado en frío de tubos como el curvado por compresión, curvado por presión, curvado por rodillos o curvado por brazos giratorios. Atendiéndonos a nuestras necesidades la

curvadora elegida será una por compresión por ser un procedimiento sencillo y económico. En el curvado por compresión, el tubo es inmovilizado con una mordaza contra una horma y todo el conjunto rota arrastrando y estirando la pieza a lo largo del útil de presión. La horma permanece inmóvil y el útil de presión se desplaza para realizar el curvado.



### 2.3.2.3 Soldadura de los tubos:

Para los aceros al carbono se pueden emplear tanto soldaduras por arco, por puntos o soldaduras de gas tales como la oxiacetilénica. La soldadura empleada para la unión de los tubos de la horquilla y el cuadro será la soldadura TIG. La elección de este tipo de soldadura se debe a:

- Versatilidad del sistema; puede ser aplicado a gran variedad de metales como el aluminio, aceros, cobre, níquel, manganeso,...
- Idóneo para la unión de piezas con espesores delgados desde 0.5mm debido al control preciso del calor del arco y la facilidad de aplicación con o sin metal de aporte
- Las superficies soldadas quedan limpias, sin escoria por lo que la estética final es buena.
- Mayor protección de la soldadura por la acción del gas
- El calor del arco es más concentrado con lo cual hay menos distorsión y mayor facilidad de la soldadura en los metales con alta conductividad
- Se puede hacer uniones sin material de aporte.
- Puede automatizarse para la producción en serie de la bicicleta urbana.

#### 2.3.2.3.1 Soldabilidad del acero:

La soldabilidad de los aceros es inversamente proporcional a una propiedad conocida como la templabilidad del acero, que mide la probabilidad de formar la martensita durante el tratamiento de soldadura o calor. La templabilidad del acero depende de su composición química, con mayores cantidades de carbono y de otros elementos de aleación resulta una mayor templabilidad y por tanto una soldabilidad menor. Para poder juzgar las aleaciones compuestas de muchos materiales distintos, se usa una medida

conocida como el contenido equivalente de carbono para comparar las soldabilidades relativas de diferentes aleaciones comparando sus propiedades a un acero al carbono simple. Las concentraciones altas de elementos como manganeso, cromo, silicio, molibdeno, vanadio, cobre,... tienden a aumentar la dureza del material y disminuir su soldabilidad. Éstos influyen en diferentes magnitudes; El efecto sobre la soldabilidad de elementos como el cromo y el vanadio, mientras que no es tan grande como la del carbono, es por ejemplo más significativa que la del cobre y el níquel. A medida que se eleva el contenido equivalente de carbono, la soldabilidad de la aleación decrece. La desventaja de usar simple carbono y los aceros de baja aleación es su menor resistencia - hay una compensación entre la resistencia del material y la soldabilidad. En resumen la soldabilidad del acero dependerá principalmente de:

- La cantidad de Carbono sobretodo y los aleantes restantes
- La velocidad de enfriamiento de la pieza.

La fórmula más popular la fórmula Dearden y O'Neill, que fue aprobado por IIW en 1967. Es la fórmula más adecuada para predecir la capacidad de endurecimiento en un rango alto de composiciones de aceros con carbono. Esta fórmula se define:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \left( \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left( \frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right)$$

Para la ecuación anterior la soldabilidad basada en rangos de CE se puede resumir:

Carbono equivalente (CE)	Soldabilidad
Hasta 0.35	Excelente
0.36-0.40	Muy bueno
0.41-0.45	Bueno
0.46-0.50	Pobre
+ de 0.50	Muy pobre

$$CE = 0.13 + \frac{0.60}{6} + \frac{0}{5} + \frac{0}{15} = 0.23$$

El contenido equivalente de carbono (CE) de nuestro acero AISI 1010 suponiendo una máxima concentración máxima de los elementos de aleación es de 0.23 con lo que la soldabilidad resultará excelente dada la escasa concentración de carbono. La soldadura de este tipo de aceros no exige ninguna preocupación

particular, debido a que el calentamiento de soldadura no tiene efectos apreciables sobre las características del metal base.

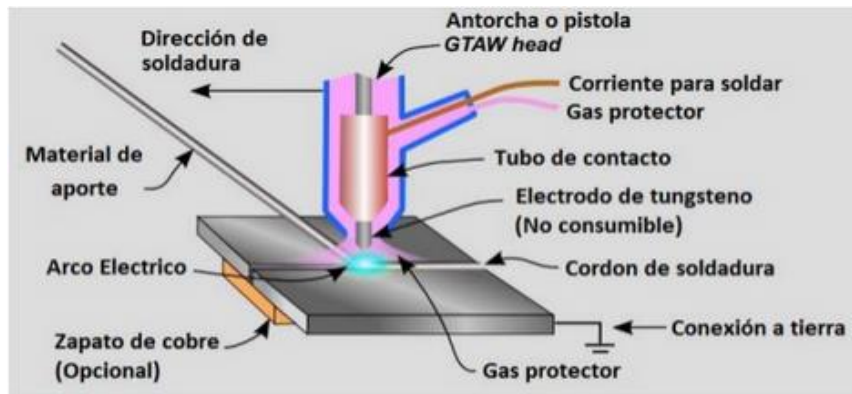
#### 2.3.2.3.2 Soldabilidad del aluminio

La soldabilidad de las aleaciones de aluminio varía significativamente dependiendo de la composición química de la aleación usada. Las aleaciones de aluminio son susceptibles al agrietamiento caliente, y para combatir el problema los soldadores aumentan la velocidad de la soldadura para reducir el aporte de calor. El precalentamiento reduce el gradiente de temperatura a través de la zona de soldadura y por lo tanto ayuda a reducir el agrietamiento caliente, pero puede reducir las características mecánicas del material base y no debe ser usado cuando el material base está restringido. Las aleaciones de aluminio también deben ser limpiadas antes de la soldadura, con el objeto de quitar todos los óxidos, aceites, y partículas sueltas de la superficie a ser soldada. Esto es especialmente importante debido a la susceptibilidad de una soldadura de aluminio a la porosidad debido al hidrógeno y a la escoria debido al oxígeno. Las aleaciones de aluminio generan mayor dificultad de soldadura en comparación con el acero y se debe básicamente a los siguientes factores:

- Temperatura de fusión: al aluminio puro funde a 600 °C por lo que es fácil perforarlo.
- Conductividad térmica: tres veces mayor que el acero. Por lo general requiere un precalentamiento de la pieza
- Dilatación térmica: dos veces mayor que el acero, lo que ocasiona problemas de tensiones internas y deformaciones.
- Óxido de aluminio: es forma al contacto con el aire y funde unos 1500°C por encima que el aluminio puro. Es imprescindible eliminar la capa de óxido en la soldadura.

#### 2.3.2.3.3 soldadura TIG

La soldadura TIG también denominada soldadura por heli-arco o GTAW ( Gas tungsten Arc Welding) es un proceso en el que se utiliza un electrodo de tungsteno (no consumible), el cual genera calor al establecer una arco eléctrico entre el electrodo y el metal base o pieza a soldar. Como en este proceso el electrodo no aporta material, se deben usar varillas o alambres como material de aporte. El electrodo, el arco y el área que rodea al baño de fusión, están protegidos por una atmósfera de gas inerte, lo cual evita la formación de escoria o el uso de fundentes o flux protectores. La soldadura TIG produce una soldadura limpia y de gran calidad ya que no produce escoria. De este modo se eliminan la posibilidad de inclusiones en el metal depositado y no necesita limpieza final. Mediante este método se obtienen cordones más resistentes, dúctiles, menos sensibles a la corrosión y con un buen acabado superficial, idóneo para las soldaduras del cuadro del nuevo modelo ya que ellas tienen la función de soportar la mayor magnitud de cargas que se presentan en el cuadro y en parte la estética final del cuadro.



**Figura 96 . Esquema de la soldadura TIG**

Equipo básico para la soldadura TIG:

- *Generador o fuente de energía:*

Los generados empleados para la soldadura TIG pueden ser los convencionales empleados también para soldaduras de arco con electrodos revestidos. Pueden ser de corriente continua o alterna. Sin embargo es importante que permita un buen control de la corriente en el campo de las pequeñas intensidades. Esto es necesario para conseguir una buena estabilidad del arco incluso a bajas intensidades para la soldadura de espesores finos.

Para la soldadura de materiales ferrosos se empleará la corriente continua por lo que en nuestro caso se empleará un generador de corriente continua. Cuando empleamos un generador de corriente continua para soldadura TIG podemos alimentar el arco mediante polaridad directa o inversa. . Al efectuar la soldadura por CC el terminal positivo se desarrolla el 70% del calor y el 30% en el terminal negativo por lo que según la polaridad empleada los resultados serán distintos. Si empleamos polaridad inversa el mayor % de calor reside en el electrodo de tungsteno por lo que modificando la polaridad a directa podemos emplear electrodo de menor tamaño logrando arcos más estables y una mayor penetración en la soldadura efectuada. En general la corriente continua con polaridad directa obtiene mejores resultados y es la más empleada en soldadura TIG por lo que esta será la polaridad elegida. La siguiente tabla define el tipo de

- *Gases de protección:*

La función principal de los gases de protección es evitar el contacto del aire del ambiente con el metal fundido y el electrodo en el momento en que se realice la soldadura. Este gas también tiene influencia en la estabilidad, características y comportamiento del arco y en consecuencia del resultado de la soldadura. Los gases más empleados son el argón, helio o una combinación de ellos. Los gases apropiados para el acero dependiendo del tipo de soldadura son:

Selección del gas según el proceso y metal a aplicar			
Metal	Tipo de	Gas o mezcla	Rasgos sobresalientes/ventajas

	soldadura	de gases	
Acero dulce	Punteada	Argón	Larga duración del electrodo, mejor contorno del cordón, más fácil de establecer el arco inicial
	Manual	Argón	Mejor control del cordón especialmente en soldaduras en posiciones especiales
	mecanizada	Argón-Helio	Alta velocidad, menos flujo de gas que con helio
		Helio	Más velocidad que la obtenida con argón

Atendiéndonos a la tabla anterior el gas empleado para la soldadura TIG de nuestro cuadro será el argón. Como se puede apreciar es el más idóneo y se adapta mejor a la soldadura de metales de menor conductividad térmica y de poco espesor.

- *Electrodos:*

A diferencia de los otros procesos de soldadura, los electrodos de tungsteno empleados en la soldadura TIG no se funden con el calor aportado. Los electrodos empleados están fabricados con tungsteno o aleaciones de tungsteno con punto de fusión de hasta 3800 C con lo que lo hace prácticamente no consumible. Estos electrodos se fabrican en diámetros de 0.020- ¼ de pulgadas. Dependiendo del diámetro de éste la corriente admisible para la soldadura será mayor o menor. La siguiente tabla muestra el tipo de corriente a emplear según el tipo de electrodo.

Guía para determinar Tipo de Corriente				
Diámetro del electrodo en pulgadas	AC		DCSP	DCRP
	Usando tungsteno puro	Usando tungsteno Thoriado o electrodos "Rare Earth"	Usando tungsteno puro, Thoriado o "Rare Earth"	
0.020"	5-15	8-20	8-20	--
0.40"	10-60	15-80	15-80	--
1/16"	50-100	70-150	70-150	10-20
3/32"	100-160	140-235	150-250	15-30
1/8"	150-210	225-325	250-400	25-40
5/32"	200-275	300-425	400-500	40-55
3/16	250-350	400-525	50-800	55-80
¼"	325-475	500-700	800-1000	80-125

En cuanto a la composición de los electrodos, ésta se encuentra clasificada por medio de la norma AWS como se muestra a continuación:

AWS	color	Elemento aleante	Óxido aleante	% en peso
EWP	Verde			
EWCe - 2	Naranja	Cerio	$CeO_2$	2.00
EWLa - 1	Negro	Lantano	$La_2O_3$	1.00
EWTh - 1**	Amarillo	Torio	$ThO_3$	
EWTh - 2	Rojo			2.00
EWZr - 1	Café	Circonio	$ZrO_2$	0.25
EWG	Gris	No especificado	---	

Para las soldaduras del cuadro podemos emplear los electrodos de la serie AWS EWP. Estos son electrodos con adición de tierras raras (mezcla de óxidos). Son de los electrodos menos dañinos al medio ambiente, no son radioactivos y ofrecen excelentes características de ignición y propiedades de Soldadura consistentes. Son de uso universal y apto para cualquier aplicación tanto con CD como CA, para aceros no aleados y aleaciones de acero, aluminio, titanio, níquel, cobre y magnesio. Son también aptos para Soldadura automatizada. Debido a su baja temperatura de trabajo, ofrecen una mayor capacidad de conducción de corriente y una mayor duración que los electrodos toriados.

#### 2.3.2.4. Pintado:

Una buena alternativa para el pintado de los cuadros es la pintura en polvo electrostática. Es un tipo de revestimiento orgánico usado para cubrir y proteger todo tipo de materiales metálicos siendo una de las alternativas más limpias i eficientes para el pintado de piezas minimizando el impacto ambiental. Este tipo de revestimiento está altamente posicionado en el sector metal-mecánico gracias a la reducción de costes y rapidez de ejecución. El éxito es esta pintura radica en sus propiedades finales: dureza, resistencia a la corrosión, excelente acabado, fácil aplicación y poco impacto ambiental.

##### 2.3.2.4.1 Pintura electrostática.

La pintura electrostática es un compuesto de resinas sintéticas, endurecedores, aditivos, pigmentos y cargas. Lo porcentajes en los cuales estos se presentan, dará a la pintura las características propias como el color, resistencia, flexibilidad y el acabado. Las pinturas empleadas habitualmente para aplicaciones electrostáticas son:

- *Pintura Epoxi*: conformado con resinas utilizadas con fines funcionales. Cuentan con elevada resistencia a impactos, buen rendimiento de aplicación, buena adherencia, tiene un alto agente para evitar la oxidación y no es contaminante. Tiene baja durabilidad en brillo y acabado por lo que no son recomendables para aplicaciones a la intemperie.

BRILLO GARDNER A 60° (ISO2813)	15-75
ADHERENCIA:RESISTENCIA AL CUADRICULADO (ISO 2409)	100%
DUREZA KONIG (ISO 1522)	90-130 oscilaciones
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)	Resistente
ENSAYO DE IMPACTO (ASTMD 2794)	80-120
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTME11-70)	
MALLA 200	0-9%
MALLA 400	25-75%
ESPESOR (ISO 2360)	50-60 micrones

**Propiedades mecánicas pintura Epoxi.**

- *Pintura Poliester-Tgic*: contiene resinas de poliéster endurecidas con triglicidil isocianurato. Tienen alta resistencia a la intemperie, a los rayos ultravioleta y a la temperatura, alta retención de brillo, mantiene estables los colores y el acabado. A pesar de ello, estas pinturas tienden a reventarse con altas cargas funcionales como impactos o dobleces, menor resistencia a la oxidación y agentes químicos. Las aplicaciones más comunes son: exteriores, zonas de calor u obras de arquitectura.

BRILLO GARDNER A 60° (ISO2813)	>85
ADHERENCIA:RESISTENCIA AL CUADRICULADO (ISO 2409)	100%
DUREZA KONIG (ISO 1522)	>130 oscilaciones
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3H



FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)	Resistente
ENSAYO DE IMPACTO (ASTMD 2794)	>160
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTME11-70)	
MALLA 200	0-9%
MALLA 400	25-75%
ESPESOR (ISO 2360)	50-60 micrones

**Propiedades mecánicas pintura Poliester-Tgic**

- *Pinturas Epoxy/poliester*: contiene resinas poliester endurecidas con resinas epoxidicas. Contienen una mezcla de propiedades de las dos anteriores en menores proporciones pero de forma más homogénea. Se aplica para usos generales en decoración o interiores o usos no porlongados en exteriores

BRILLO GARDNER A 60° (ISO2813)	>85
ADHERENCIA:RESISTENCIA AL CUADRICULADO (ISO 2409)	100%
DUREZA KONIG (ISO 1522)	>130 oscilaciones
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO 1519)	Resistente
ENSAYO DE IMPACTO (ASTMD 2794)	>160
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTME11-70)	
MALLA 200	0-9%
MALLA 400	25-75%
ESPESOR (ISO 2360)	50-60 micrones

**Propiedades mecánicas pintura Epoxi/poliester**

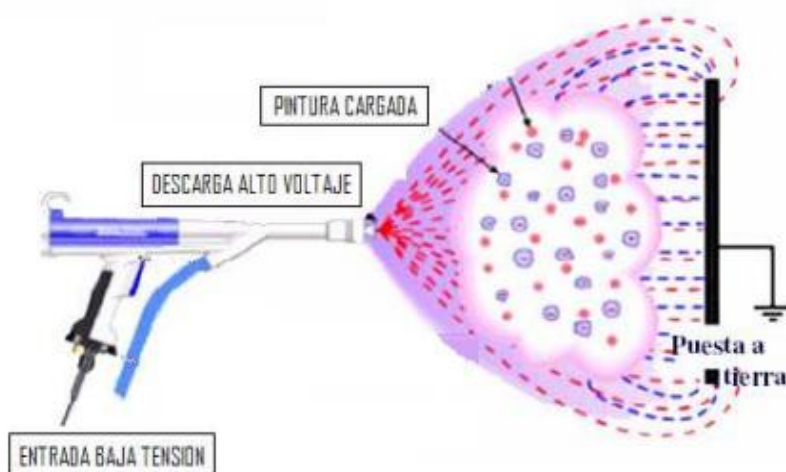
Teniendo en cuenta los factores y variables más importantes de desempeño, calificándolos del 1 al 5 se realiza una tabla comparativa de las 3 pinturas.

Variable	Epoxi	Epoxi/poliéster	Poliéster
Dureza	5	4	3
Flexibilidad	5	5	5
Resistencia al exterior	2	3	5
Resistencia a la corrosión	5	4	4
Resistencia química	4	5	4
Propiedades mecánicas	5	3	3
Estabilidad de almacenamiento	5	4	5
Durabilidad	2	3	4

**Tabla comparativa pinturas electrostáticas.**

Dadas las propiedades de las pinturas mostradas en la tabla la mejor elección corresponde a la pintura poliéster dado que tiene una buena resistencia al exterior, a la corrosión y la mayor durabilidad lo cual la hace apta para el pintado de cuadros de bicicleta.

La aplicación más común es el recubrimiento electrostático, el cual, se cargan las partículas de polvo. Para estas aplicaciones se aplican equipos “corona” que generan cargas que son transferidas a la pintura utilizando una fuente externa de alta tensión para cargar el aire, donde se liberan iones libres y el polvo adquiere una carga negativa. Otro tipo de aplicación sería la denominada recubrimiento por lecho fluido simple mediante sistemas Tribo-eléctricos donde los equipos provocan las cargas mediante el rozamiento de los granos de pintura entre si y contra las paredes del cañón de la pistola cargando positivamente el polvo. Esta última metodología está reservada para piezas con geometrías complicadas en la que se requiera un espesor elevado por lo que emplearemos el recubrimiento electrostático mediante equipos “corona”. Las partículas en polvo se cargan eléctricamente mientras el producto a pintar está conectado a tierra produciendo una atracción electrostática que adhiere la pintura en polvo a la pieza logrando recubrir toda su superficie de manera pareja y total.



**Figura 97. Aplicación electrostática mediante equipos corona.**

Durante la aplicación de la pintura en polvo se deben en cuenta ciertas consideraciones ambientales. La humedad ambiental y la temperatura máxima no deben sobrepasar, los 65% i 35°C, respectivamente. El aire debe estar libre de aceite, humedad y partículas sólidas por lo que deberá realizarse en un cuarto con presión positiva sin entradas o fugas de aire. La pistola de trabajo debe estar ubicada aproximadamente a unos 20-30cm de la pieza.

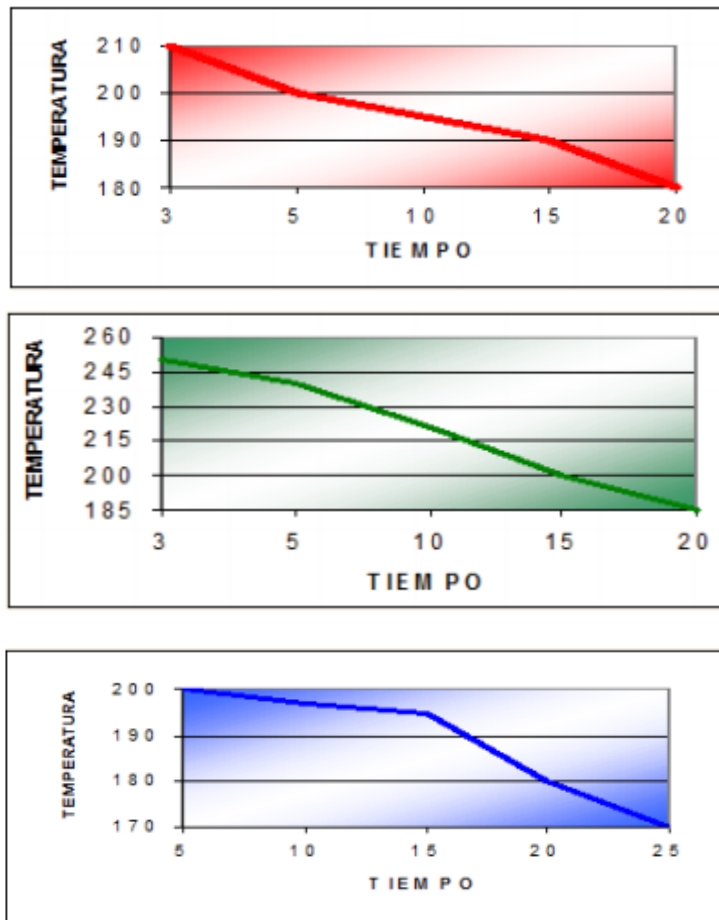


**Figura 98. Equipo para pintado electrostático.**

#### 2.3.2.4.2 Secado y curado

Durante este proceso, la pintura en polvo se funde para lograr que el revestimiento adquiriera sus propiedades finales. Es conocido como el proceso de polimerización, y básicamente consta de activar la reacción química del sistema de resinas por medio del calor.

Dependiendo del tipo de resina empleado, se establecen los tiempos de polimerización expresados por una curva de curado proporcionada por el fabricante de la pintura. Las siguientes figuras muestran las curvas de curado de las pinturas electrostáticas epoxy, poliéster y epoxy/poliéster respectivamente.



**Figura 99. Curvas de curado pinturas epoxy, poliéster y epoxy/poliéster respectivamente.**

En cuanto a los hornos empleados se emplean los hornos por convección, donde el calor al metal es transferido a través del aire caliente o los hornos por radiación donde suministran la energía directamente a la pieza. Un curado no satisfactorio puede generar dificultades de adherencia y deficiencias de resistencia química y al impacto.

## 2.4 Impacto medioambiental

El impacto ambiental de los productos tanto bienes como servicios, no sólo se limita al momento de la producción sino que se extiende a lo largo de su ciclo de vida. Teniendo en cuenta que el diseño determina la mayor parte del impacto del producto, resulta crítico considerar los aspectos e impactos asociados a cada etapa del ciclo de vida desde las primeras fases del proceso de diseño, mediante la integración temprana de la componente ambiental, de forma que se reduzcan los impactos manteniendo la funcionalidad del producto.

En el año 2003 se aprobó la norma UNE 150301 “Gestión ambiental del proceso de diseño y desarrollo. Ecodiseño”, en la que se describen los requisitos del sistema de ecodiseño, compatible con otros sistemas ISO 9001 e ISO 14001 habitualmente utilizados por las empresas.

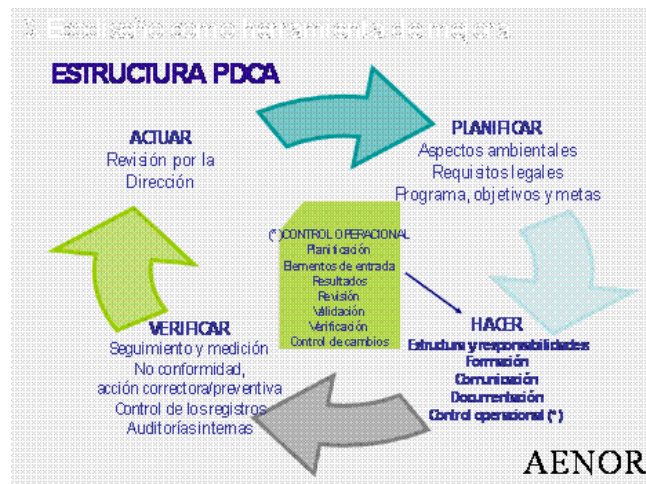
#### 2.4.1 Norma UNE 150301

La norma nació con vocación de ser una herramienta para ayudar a las empresas a:

- *Minimizar los impactos ambientales* generados por productos o servicios desde su diseño, promoviendo un enfoque preventivo.
- *Sensibilizar al mercado* sobre la importancia del impacto ambiental generado por productos o servicios, impulsando la información activa por parte de las empresas productoras, tanto a los usuarios como a otros agentes clave a lo largo del ciclo de vida, como por ejemplo los recicladores.
- *Fomentar el cambio de perspectiva*, pasando de un enfoque basado en los aspectos ambientales asociados a la fabricación del producto, a una identificación más amplia en la que se incluyen los generados en otras etapas del ciclo de vida.
- *Establecer una sistemática* que asegure la mejora ambiental continua en el diseño de productos y servicios, es decir, que todos los productos diseñados o rediseñados incorporen alguna mejora ambiental.
- *Facilitar un distintivo* a las empresas que garantizan los mínimos establecidos en la norma, mediante la *certificación*, que les suponga una ventaja competitiva en el mercado.

En la norma se especifican los requisitos a aplicar en el proceso de diseño y desarrollo, para la mejora de los productos y servicios de una organización, a través de un sistema de gestión ambiental. Su implantación facilita a la organización, en particular a los componentes de los equipos de diseño, la incorporación en sus tareas diarias de una sistemática para identificar, controlar y mejorar de forma continua los aspectos ambientales de los productos y servicios que diseñan. El certificado de Ecodiseño avala que en todo el proceso de diseño y desarrollo se han tenido en cuenta las afecciones ambientales del producto para reducirlas. De esta forma *todos los productos diseñados o rediseñados* por la organización incorporan alguna mejora ambiental, sin transferir los impactos de una etapa a otra del ciclo de vida.

La estructura, terminología y requisitos de la norma están basados tanto en las normas ISO 9001 e 14001, para facilitar su integración con dichos sistemas de gestión, incorporando también el concepto de mejora continua (ciclo PDCA), que consiste en planificar, hacer, verificar y actuar para mejorar.



**Figura 100. Esquema ciclo ecodiseño.**

#### 2.4.2 Proceso de fabricación:

El beneficio de la bicicleta en el medio ambiente es evidente; es un transporte que no emite gases invernadero (CO<sub>2</sub>). Medioambientalmente hablando conducirla no tiene ningún efecto positivo ni negativo a diferencia de cualquier vehículo motorizado. No existe discusión de que es una de las formas más efectivas para reducir la contaminación. No obstante, una bicicleta no deja de generar también una serie de impactos cuando se contempla todo su ciclo de vida, desde que se extraen los materiales necesarios para su fabricación hasta que se gestiona como residuo. La Federación Ciclista Europea (ECF) llevó a cabo una investigación para proporcionar los primeros datos específicos de las emisiones producidas por las bicicletas durante su vida útil, en comparación con los vehículos motorizados. Los cálculos para las bicicletas incluyen la fabricación (la ECF tomó la bicicleta más pesada "estilo europea" como modelo, suponiendo que cada una utiliza 14.6kg de aluminio, 3,7 kg de acero y 1,6 kg de goma -) y el mantenimiento. El cálculo dio un total de 21 gramos de emisiones de carbono por pasajero y kilómetro recorrido de una bicicleta, en comparación con los 271 gramos para el automóvil y 101 gramos para el autobús, lo cual supone el vehículo más ecológico entre los que existen actualmente en el mercado. Dado que la contaminación y el impacto ambiental del uso de la bicicleta es mínimo, deberemos todo el daño ambiental al diseño y fabricación de la bicicleta. En ella podemos incluir los residuos que se generarán durante la producción del acero y aluminio de las piezas empleadas, los residuos derivados del corte, curvado, soldadura y pintado. Los desechos más llamativos en la fabricación de bicicletas son los derivados de los procesos de soldadura. En nuestro caso en el cual hemos empleado una soldadura eléctrica, ésta nos generará una serie de residuos tales como residuos industriales inertes (restos de tubos metálicos), restos de electrodos, virutas metálicas, herramientas viejas. Cristales de gafas y pantallas protectoras, residuos peligrosos (partículas y polvos metálicos, filtros de campanas de extracción, aerosoles, fluorescentes, pilas, residuos gaseosos (emisiones a la atmósfera de gases como NO<sub>x</sub>, CO y CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> o humos metálicos). Por ello deberemos prestar especial atención en los procesos de soldadura para minimizar en lo máximo posible el impacto ambiental. La elección de las pinturas electrostáticas disminuye el impacto ambiental ya que podemos reciclar hasta el 90% de la pintura no aplicada a la pieza además de minimizar los costes de deposición.

### 2.4.3 Reciclado de materiales:

#### 2.4.3.1 Acero

El reciclado del acero es altamente eficiente. Se puede reciclar indefinidamente, sin pérdida alguna de calidad. El 75% del acero fabricado en España es acero reciclado. El 90-100% de los residuos y subproductos del proceso se valorizan por diversas vías. Las escorias se reutilizan como árido, en la construcción de carreteras o producción de cemento. La chatarra debe cumplir con unos requerimientos de seguridad, donde se deben excluir elementos inflamables, radioactivos o peligrosos. También ha de estar libres de elementos estériles no férricos y adecuadamente separado y clasificado para facilitar tanto su almacenamiento como su posterior manipulación. El 100% de la producción española de acero se realiza bajo sistemas de gestión medioambientales certificados (ISO 14001 y/o EMAS. Actualmente se emplean las acerías eléctricas para la fusión del acero reciclado. Inicialmente, las acerías de horno eléctrico se empleaban para la fabricación de aceros especiales, pero actualmente dado la alta eficiencia se emplean para el reciclado masivo de la chatarra del acero. Estas acerías emplean como materia prima 100% de chatarra férrica. Las capacidades de estos hornos pueden ir de pocas toneladas a 300.

La chatarra almacenada se transporta hasta el horno en cestas que se abren por la zona inferior. Las cestas incluyen los fundentes y agentes de carbono. Al cargar la cesta en el horno se inicia la fusión. Cuando se ha completado parte El proceso de fusión se completa con la oxidación de ciertas impurezas para eliminarlas, ayudado por la inyección de oxígeno. El proceso implica la formación de costras de óxidos, que evita las pérdidas de energía y protege el acero líquido. Después de la fusión el acero pasa a un segundo horno más pequeño, el cual se ajusta la composición de los múltiples aleantes que determinan cada tipo de acero. A continuación se solidifica el acero en la colada sobre moldes o bien en lingoteras para su posterior conformado en caliente.

#### 2.4.3.2 Aluminio:

El reciclado del aluminio es un proceso complejo, en el que intervienen diversos factores. Tanto sus canales de recuperación como sus aplicaciones y mercados presentan múltiples posibilidades. Las empresas “recuperadoras del aluminio “se convierten en fundamentales para darle el mejor uso posible al aluminio.

El aluminio usado proviene básicamente de dos vías: de los desechos del consumo ya sea doméstico o industrial y de los recortes y virutas que se producen durante la fabricación de productos de aluminio. Los aluminios reciclados se agrupan en cuatro categorías: los productos laminados, los extrusionados, los moldeados y los trefilados.

La industria también clasifica el aluminio en primario, cuando se extrae de su mineral bauxita, y de segunda fusión, cuando su materia prima básica son las chatarras y recortes de aluminio provenientes de aluminio ya usado y de recortes de fabricación.

El ciclo del recuperado consiste básicamente en darle la preparación óptima para su posterior comercialización. En el caso de los mayoristas, tratan de estandarizar la calidad del material para el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales que existen en el sector. Es importante una buena clasificación del aluminio, para poder darle la mejor salida posible. La chatarra de aluminio suele ser

prensada, ya que de esta forma el transporte resulta mucho más fácil. Tras estos necesarios procesos, se lleva el material a una fundición, que puede darle el mismo uso de origen, o usarlo para fabricar otros objetos. Después el fundidor o refinador lo convierte, mediante fusión, en lingotes , tochos, productos de desoxidación...etc

Las refinерías de aluminio son el último eslabón de la cadena de reciclaje de este material. Normalmente sus compras exceden las 10 toneladas, por lo que sus suministradores son siempre recuperadores mayoristas. Cuando se ha llegado a un acuerdo de compra con ellos, se realizan análisis generales de la materia prima para verificar sus características. Además, cuando el material entra en la refinería, también se analizan muestras de cada camión para evitar introducir en el horno sustancias no indicadas para el proceso de producción de la refinería

#### **2.4.4 Pautas de fabricación para minimizar el impacto ambiental**

Todos los procesos tienen cierta incidencia medioambiental, por ello, es necesario tener presente unas “pautas medioambientales para minimizar al máximo el impacto medioambiental. Con ello nos referimos a la reducción de residuos, energía empleada, contaminación acústica, atmosférica,... A continuación se mostrarán las pautas de trabajo durante la fabricación de nuestros diseños para minimizar en la medida de lo posible el impacto ambiental.

##### *Conformado del material:*

- El análisis minucioso de los trazados de los conformados evita la contaminación acústica causado por los impactos mecánicos necesarios para corregir conformados incorrectos
- Las máquinas de conformado pueden tener fugas de aceite y/o grasas. Mantener limpio el puesto de trabajo permite detectar rápidamente las mismas

##### *Corte*

- La adecuada preparación de materiales contribuye a reducir sobrantes en las piezas
- Conviene realizar un buen mantenimiento de los equipos, así como efectuar limpiezas de boquillas, carros para obtener un corte más correcto y reducir los residuos generados
- En el corte por sierra mecánica se debe procurar la recirculación de las taladrinas y vigilar los derramos de las mismas. Las taladrinas son un residuo peligroso, altamente contaminante

##### *Soldadura:*

- La calibración y mantenimiento de los equipos ahorra energía y genera un producto de mayor calidad
- Desconectar los equipos de soldaduras si no son utilizados durante largos periodos de tiempo
- Estudiar la composición química de los gases residuales de soldadura que puedan conducir a emisiones contaminantes



### *Pintura:*

- Se pueden reutilizar restos de pintura extruidos mediante la operación de granallado cómo la pintura en polvo.
- Siempre que sea posible debe emplearse pintura en polvo (pintura empleada para el pintado de cuadro y horquilla) ya que no contienen apenas disolventes orgánicos y no originan emisiones de compuestos orgánicos volátiles.
- La contaminación que causan las pinturas, desde que se reciben en el almacén hasta que quedan aplicadas sobre el objeto, proviene de envases vacíos, evaporación de disolventes, derrames accidentales, polvo, filtros,... Con una vigilancia y control adecuado de estas operaciones pueden reducirse la contaminación generado por el pintado de piezas.

## 2.5 Ensayos reglamentarios

Atendiéndonos a la normativa UNE –EN 14764 se realizarán los ensayos correspondientes de los componentes diseñados para tratar de comprobar su validez estructural por lo que limitaremos el campo de aplicación de la normativa a la horquilla, cuadro, manillar y potencia. Los ensayos realizados son los siguientes:

Ensayos estáticos:

Conjunto dirección-Ensayo de seguridad y resistencia estática:

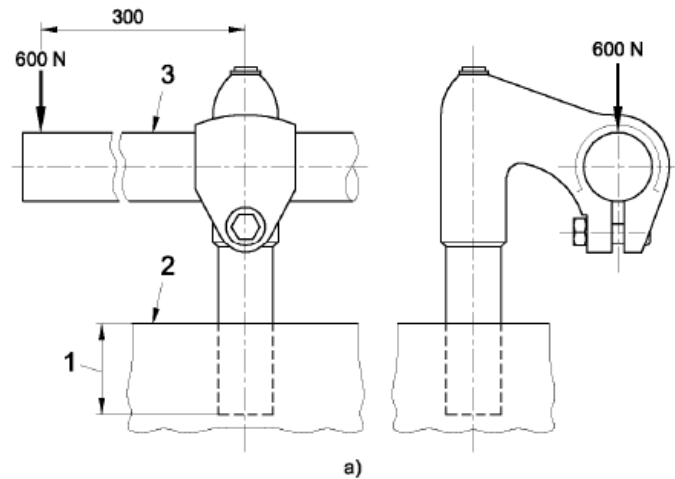
- Potencia-Ensayo de flexión lateral
- Conjunto manillar y potencia-Ensayo de flexión lateral
- Horquilla delantera – Ensayo estático de flexión.

Ensayos de fatiga:

- Conjunto cuadro - horquilla - Ensayo de fatiga con las fuerzas de pedaleo.
- Conjunto cuadro - horquilla - Ensayo de fatiga con fuerzas verticales
- Conjunto manillar - Potencia - Ensayo de fatiga








### **2.5.1 Potencia – Ensayo de flexión lateral:**

Para las potencias destinadas a ser insertadas en un tubo de horquilla se sujeta el árbol de la potencia a un dispositivo de fijación a la profundidad mínima de introducción (52,5mm). Se fija una tija maciza de ensayo a la potencia y se aplica una fuerza de 600 N a una distancia de 300mm del eje de la potencia tal y como se muestra en la figura siguiente. Se mantiene esa fuerza durante 1 minuto.



Requisitos del ensayo: después del ensayo efectuado no debe existir rotura ni fisura de la potencia y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza y en su sentido no debe sobrepasar **10mm.**

Condiciones de contorno en NX Nastran:

	Creación de una barra maciza de acero (AISI1005) de 600mm de largo y un diámetro de 25,4mm (igual al diámetro de la potencia) colocado su extremo a 300mm y de forma perpendicular al eje vertical de la tija de la potencia.
	Malla con elementos hexaédricos de 8 nodos en la barra maciza
	Malla con elementos tetraédricos de 10 nodos en la potencia
	Restricción fija de movimiento sobre la tija de la potencia desde su extremidad inferior hasta la profundidad mínima de introducción (52,5mm)
	Carga de aceleración de gravedad sobre todo el ensamble de 9.81 m/s <sup>2</sup>
	Fuerza vertical de 600N en el extremo de la barra maciza en la dirección del eje Z negativa.
	Tiempo de evaluación de la carga de 1 min

Modelo CAE:

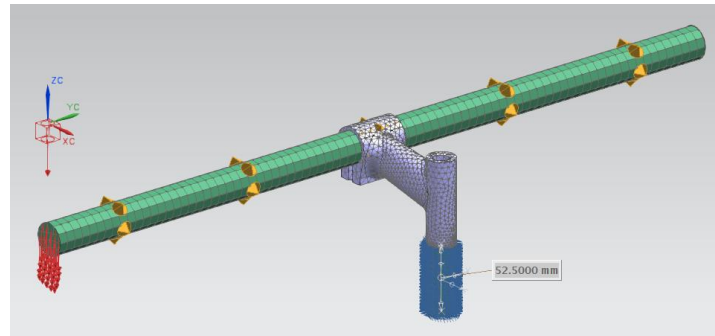


Figura 101. Modelo CAE ensayo flexión lateral potencia

### 2.5.1 .1 Resultados:

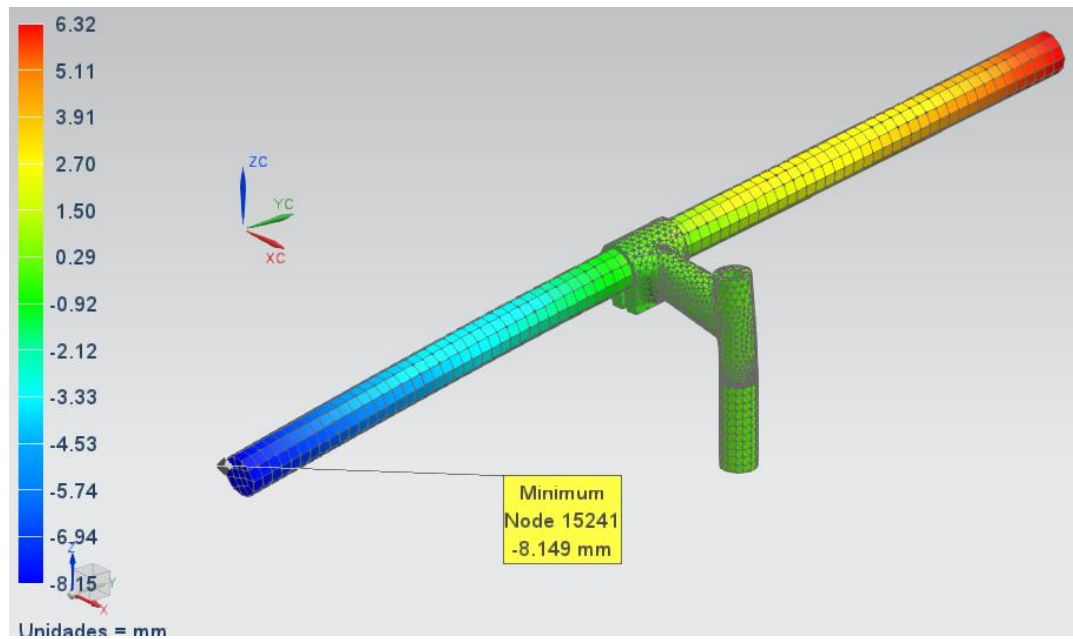
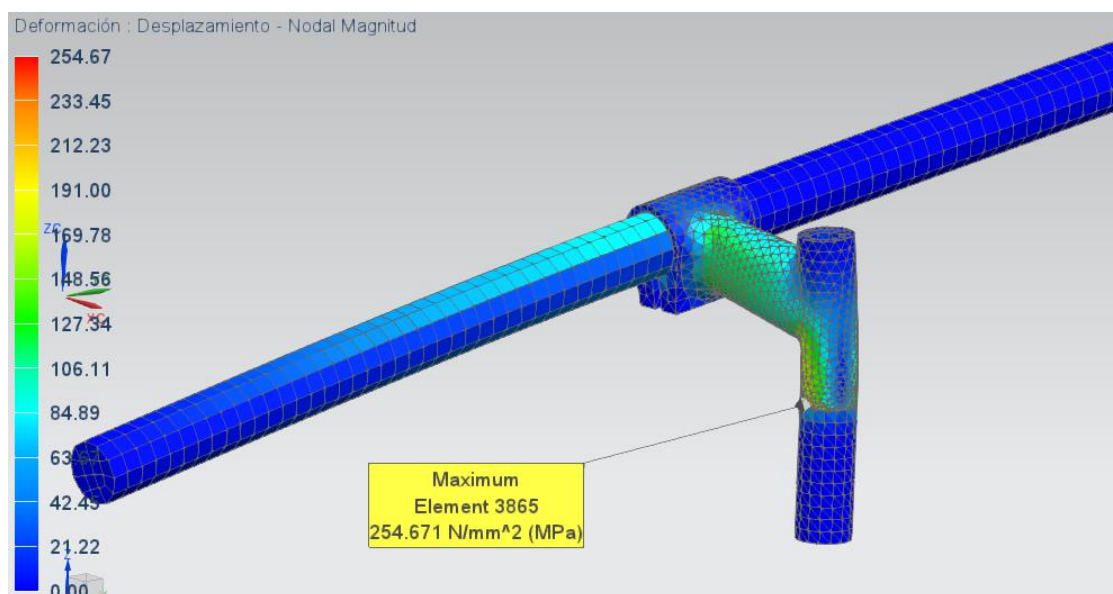


Figura 102. Desplazamientos nodales ensayo flexión potencia (mm)








**Figura 103. Tensiones en ensayo flexión potencia (Mpa)**

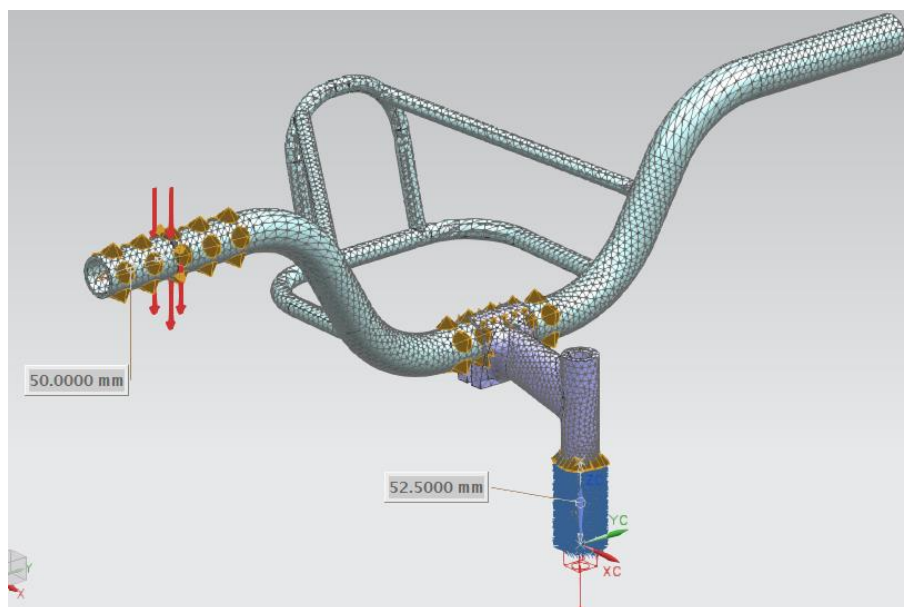
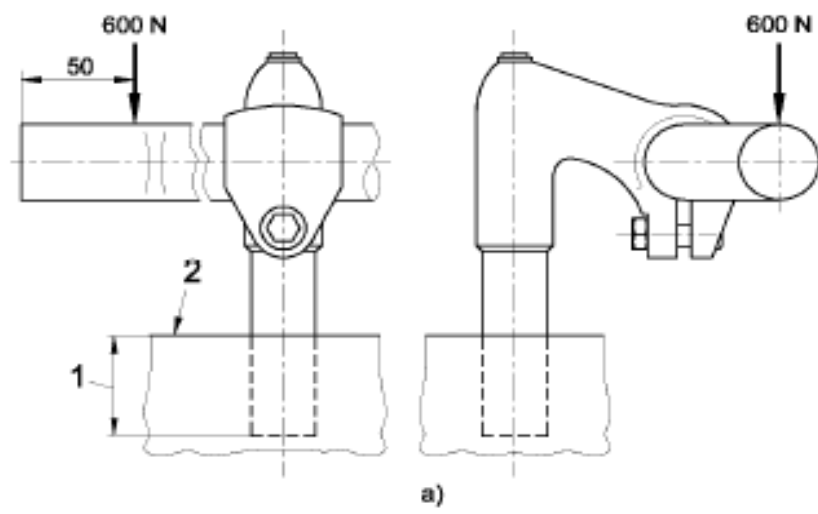
Los requisitos del ensayo exigían una deformación permanente en la zona de aplicación de la fuerza de 10mm como máximo. En el ensayo realizado las deformaciones permanentes en la zona de aplicación de la carga y en su sentido son 8.149mm por lo que el ensayo es satisfactorio. En cuanto a las tensiones, se consiguen valores **de 254.671 N/mm<sup>2</sup>** dentro de la zona de fluencia sin sobrepasar la resistencia máxima a tracción del material (**279 N/mm<sup>2</sup>**) por lo que no se producirán fisuras en la pieza. La magnitud de las tensiones muestra como los ensayos comprometen el material hasta sus límites elásticos.

### **2.5.2 Conjunto manillar-potencia- Ensayo de flexión lateral.**

Se monta el manillar y la potencia de la misma forma la cual irán montados en la bicicleta. Para las potencias que tienen un árbol hueco destinado a ser insertado en un tubo de horquilla, el caso que nos concierne, se sujeta rígidamente el árbol hueco a un dispositivo de sujeción a la profundidad mínima de introducción (**52,5mm**). Se aplica una fuerza vertical de 600N a 50 mm de la extremidad libre del manillar tal y como se muestra en la siguiente figura.

Requisitos del ensayo: después de realizar el ensayo el manillar o potencia no deben presentar fisura o rotura y la deformación permanente medida en el punto de aplicación de la fuerza no debe sobrepasar **15 mm**. .

	Malla con elementos tetraédricos de 10 nodos en la potencia y manillar
	Restricción fija de movimiento sobre la tija de la potencia desde su extremidad inferior hasta la profundidad mínima de introducción (52,5mm)
	Carga de aceleración de gravedad sobre todo el ensamble de 9.81 m/s <sup>2</sup>
	Carga de 600N situada a 50 mm del extremo del manillar
	Tiempo de evaluación de la carga de 1 min



**Figura 104. Modelo CAE ensayo flexión lateral potencia y manillar.**

#### 2.5.2.1 Resultados:

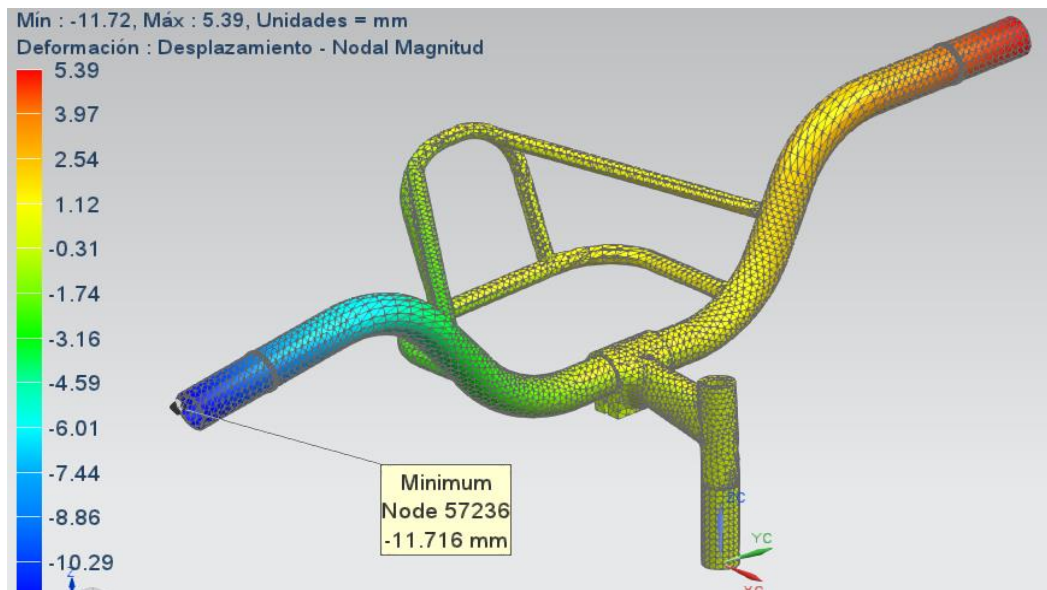


Figura 105. Desplazamientos nodales ensayo flexión lateral potencia y manillar (mm)

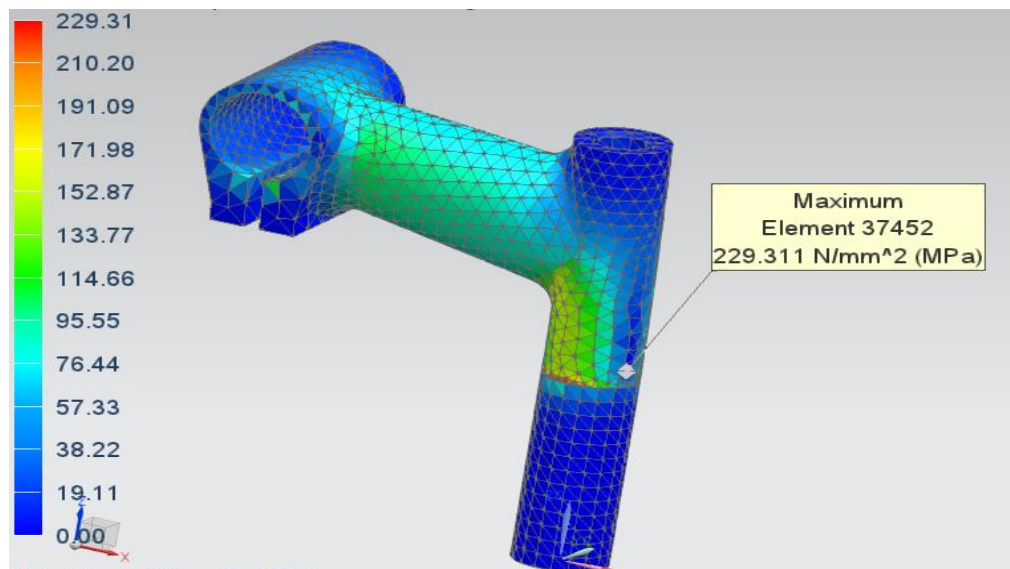
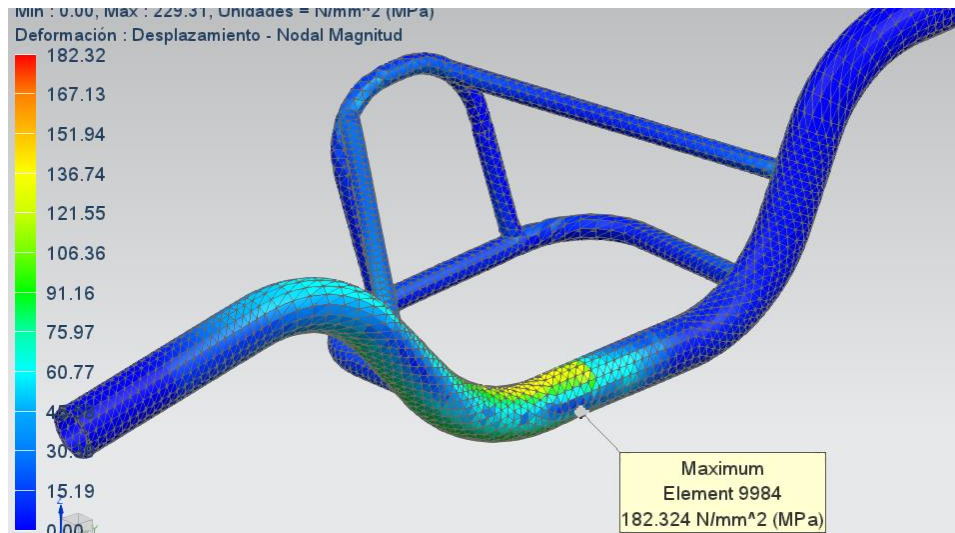


Figura 106. Tensiones potencia ensayo flexión lateral potencia y manillar (Mpa)

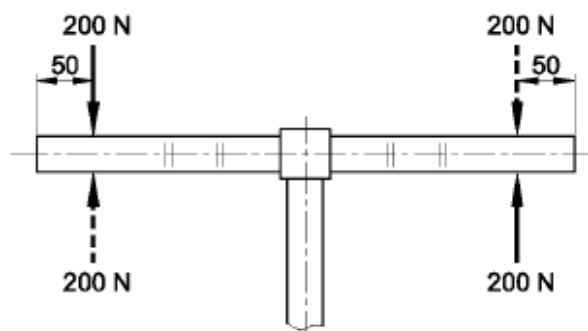


**Figura 107. Tensiones manillar ensayo flexión lateral potencia y manillar (Mpa)**

Las tensiones máximas se producen en la potencia en la sección justamente superior al volumen fijado de la tija de la potencia. Se generan tensiones máximas de Von Mises de **229.311 Mpa** mientras que en el manillar se alcanzan máximas de **182.32 Mpa**. En la potencia se generan mayores esfuerzos dado que la flexión es mayor en ella. Se generará una deformación permanente en la potencia dado que se ha superado el límite elástico del material (217 Mpa), algo supuesto dado que el requisito prevé una deformación permanente. En el extremo libre del manillar se alcanza una deformación en la dirección y sentido de la fuerza (eje  $-Z$  en el sistema espacial del software) de **11.76mm** por lo que la flecha será algo menor a 50 mm del extremo en la zona de aplicación de la fuerza superando el requisito del ensayo que limitaba la deformación en la zona de aplicación de la carga de **15 mm**







### 2.5.3 Conjunto manillar-potencia- Ensayo de fatiga:

Se sujeta firmemente la potencia en un dispositivo de fijación a la profundidad mínima de introducción. En el caso de los manillares que no han sido provistos para ser utilizados con extensiones de manillar se aplican fuerzas alternadas de 200N en un punto situado a 50mm de cada extremo libre del manillar durante 100000 ciclos, estando desfasadas una con otra en cada extremo del manillar y en los sentidos indicados en la figura siguiente .La frecuencia máxima de ensayo debe ser de 25 Hz.







Requisitos exigidos: después del ensayo efectuado no debe haber ninguna fisura o rotura visible del manillar o la potencia.

Condiciones de contorno NX Nastran:

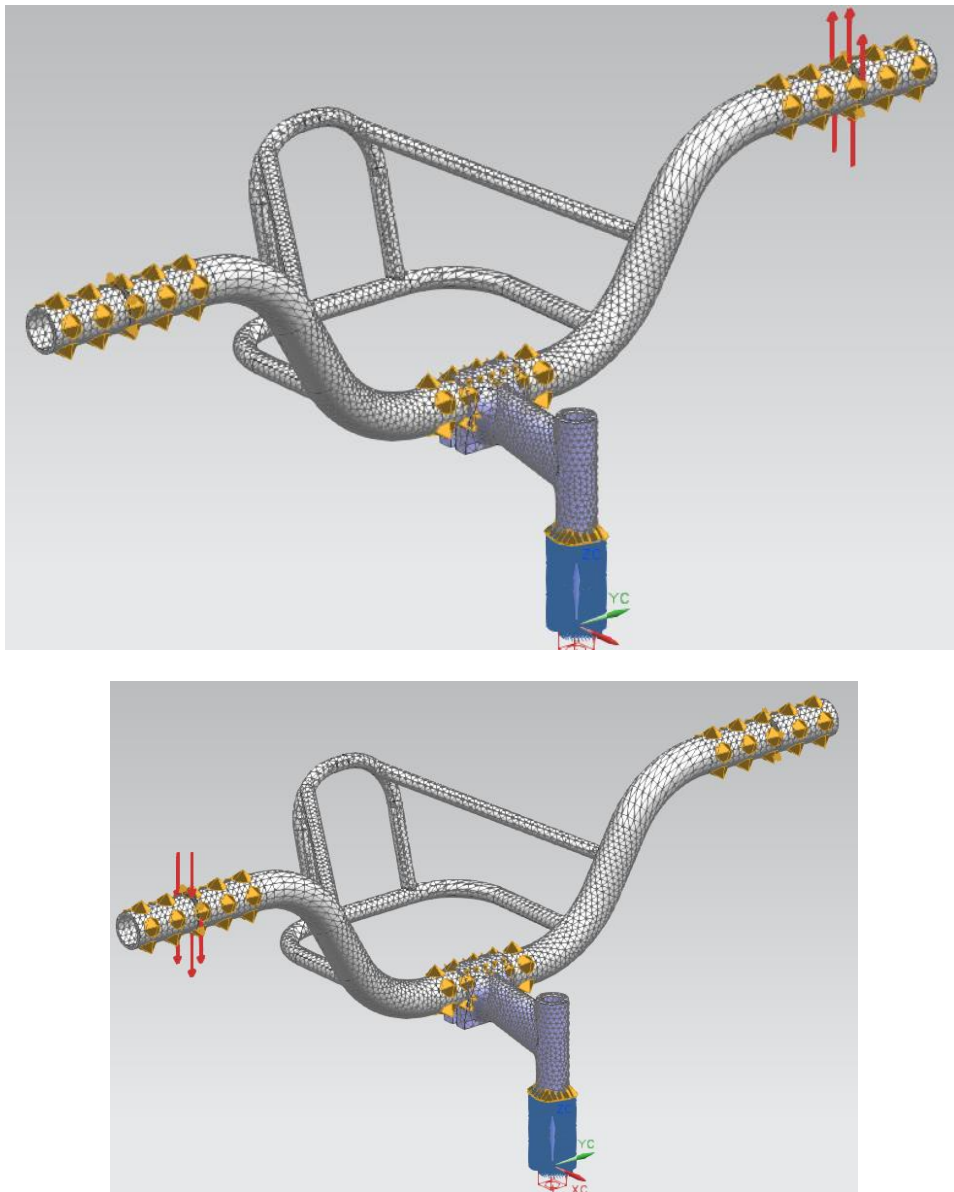
	Malla con elementos tetraédricos de 10 nodos en la potencia y manillar
	Restricción fija de movimiento sobre la tija de la potencia desde su extremidad inferior hasta la profundidad mínima de introducción (52,5mm)
	Carga de aceleración de gravedad sobre todo el ensamble de $9.81 \text{ m/s}^2$
	Carga de 250N situada a 50 mm del extremo izquierdo del manillar en el eje Z negativo
	Carga de 250N situada a 50 mm del extremo derecho del manillar en el eje Z positivo
	Tiempo de evaluación de la carga de 4000s ( 100000 ciclos/ 25Hz)
Frecuencia de evaluación de 25Hz de las dos cargas	

Condiciones de contorno del ensayo de fatiga en NX Nastran una vez finalizado el ensayo estático previo:

	Excitaciones estática correspondiente a la solución estática sobre el pedal izquierdo
	Excitaciones estática correspondiente a la solución estática sobre el pedal derecho
	El patrón de las dos cargas corresponde a un ciclo de unidad completo dado que se requieren fuerzas opuestas.
	El patrón de las dos cargas corresponde a un ciclo de unidad completo dado que se requieren fuerzas opuestas.



Modelo CAE:



**Figura 108. Casos de carga ensayo fatiga manillar-potencia**

#### *2.5.3.1 Resultados:*

Las siguientes tablas muestran los resultados de las dos cargas de misma magnitud y dirección pero en sentidos opuestos situadas a 50mm de los extremos libres del manillar, respectivamente. Técnicamente estas tensiones y deformaciones deben ser iguales dado la simetría de las cargas y, simetría del volumen de material y la isotropía del material. Aún así no coinciden del todo aunque la diferencia es escasa. Esto puede deberse a la asimetría en este caso del mallado que genera ubicaciones algo distintas a cada lado del plano simétrico por lo que las aproximaciones son algo distintas.

Subcase - Static Loads 1 : Number of Iterations = 1								
	Desplazamiento (mm)				Esfuerzo (mN/mm <sup>2</sup> (kPa))			
	X	Y	Z	Magnitude	Von-Mises	Min Principal	Max Principal	Max Shear
Paso estático 1								
Max	1.790e-002	2.107e-002	1.795e+000	4.272e+000	1.037e+005	3.780e+004	1.466e+005	5.681e+004
Min	-2.031e-001	-1.746e+000	-3.914e+000	0.000e+000	2.923e-002	-1.511e+005	-4.231e+004	1.683e-002
Subcase - Static Loads 2 : Number of Iterations = 1								
	Desplazamiento (mm)				Esfuerzo (mN/mm <sup>2</sup> (kPa))			
	X	Y	Z	Magnitude	Von-Mises	Min Principal	Max Principal	Max Shear
Paso estático 1								
Max	1.922e-001	2.114e-002	3.885e+000	4.242e+000	1.048e+005	3.615e+004	1.484e+005	5.762e+004
Min	-2.865e-002	-1.735e+000	-1.811e+000	0.000e+000	3.181e-002	-1.516e+005	-3.856e+004	1.749e-002

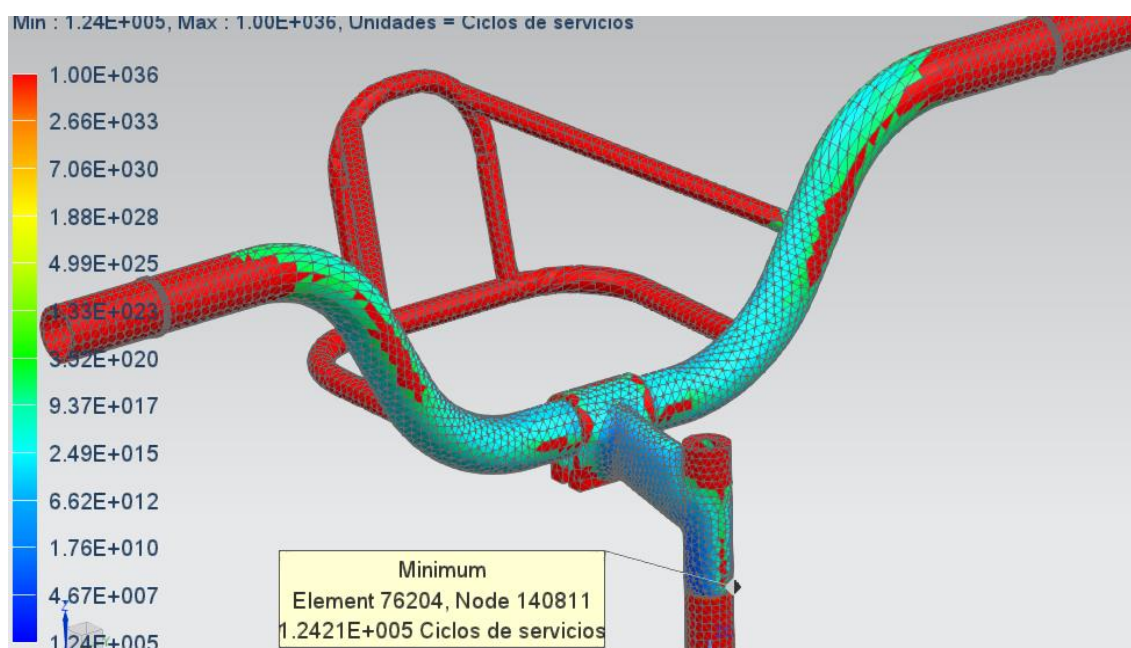


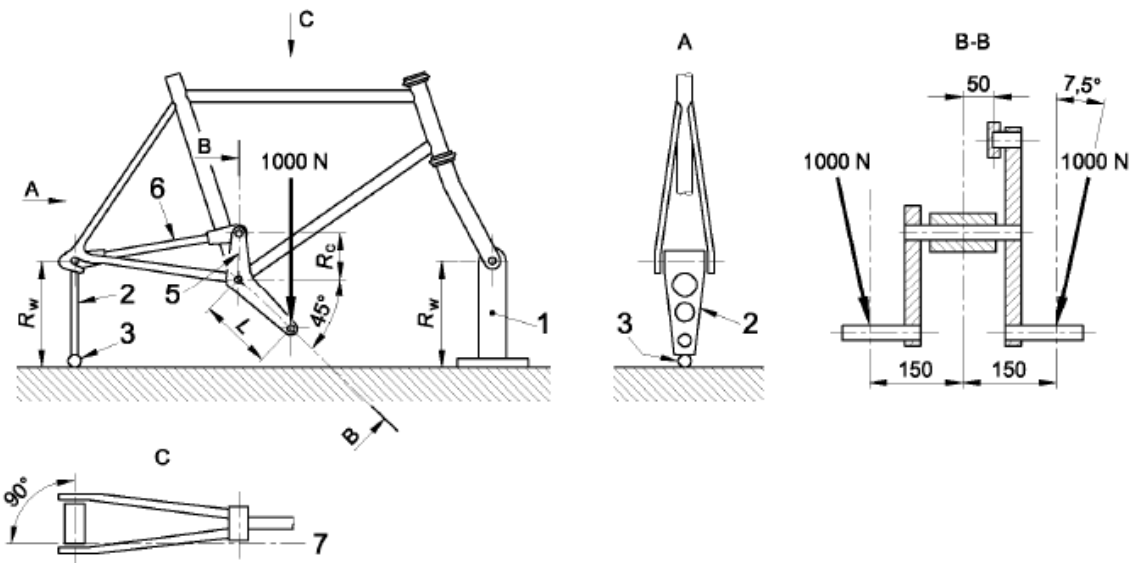
Figura 109. Ciclos de servicio hasta la rotura. Ensayo fatiga manillar-potencia

Los mínimos ciclos de servicio hasta la rotura son **124210** y se sitúan en la tija de la potencia donde la flexión es máxima y en consecuencia las tensiones también. Por lo tanto, el conjunto no sufrirá fisura o rotura durante los 100000 ciclos de servicio del ensayo reglamentario. La diferencia de ciclos de vida respecto a los ciclos de ensayo es de 24000 ciclos por lo que se demuestra otra vez la destructividad de los ensayos.

#### 2.5.4 Cuadro - horquilla – Ensayo de fatiga con las fuerzas de pedaleo:







Se monta el conjunto cuadro horquilla sobre una base como se muestra en la figura siguiente con la horquilla verdadera fijada por su eje a un dispositivo de fijación con el buje libre para oscilar alrededor de su eje. Se fijan las punteras traseras por medio de un eje a una unión vertical rígida con la parte superior libre para oscilar alrededor del centro del eje, pero garantizando una rigidez en un plano lateral. Se puede instalar un conjunto de biela, plato y cadena o un conjunto de sustitución (emplearemos el conjunto de sustitución). Si se instala este último, se asegura que el conjunto pueda girar libremente alrededor del eje de la caja de pedalier y que los dos componentes de sustitución de las bielas tengan una longitud ( $L$ ) de 175mm y estén dirigidos hacia delante y hacia abajo con un ángulo de  $45^\circ$  respecto la horizontal. Se bloquean los componentes de sustitución en esta posición con la ayuda de un brazo de palanca vertical y un tirante provisto de juntas esféricas en ambos extremos y que se conecta al eje trasero perpendicularmente al eje de la rueda. La longitud del brazo vertical ( $R_c$ ) debe ser 75mm y el eje del tirante debe ser paralelo y estar a 50mm del plano transversal del cuadro.

Se somete cada eje de pedal a una fuerza repetida de 1000N en un punto situado a 150mm del eje del cuadro en un plano transversal vertical y con una inclinación de  $7,5^\circ$  respecto al plano longitudinal del cuadro. Se verifica que la fuerza sobre un eje del pedal ha descendido al 5% o menos de la fuerza máxima antes de comenzar a aplicar la fuerza del ensayo al otro pedal. La siguiente figura muestra el ensayo descrito. Se aplican las fuerzas durante 100.000 ciclos de ensayo sabiendo que un ciclo de ensayo consiste en aplicar y retirar las dos fuerzas de ensayo.







Requisitos del ensayo: Al finalizar el ensayo no debe haber ninguna fisura ni rotura visible en el cuadro.

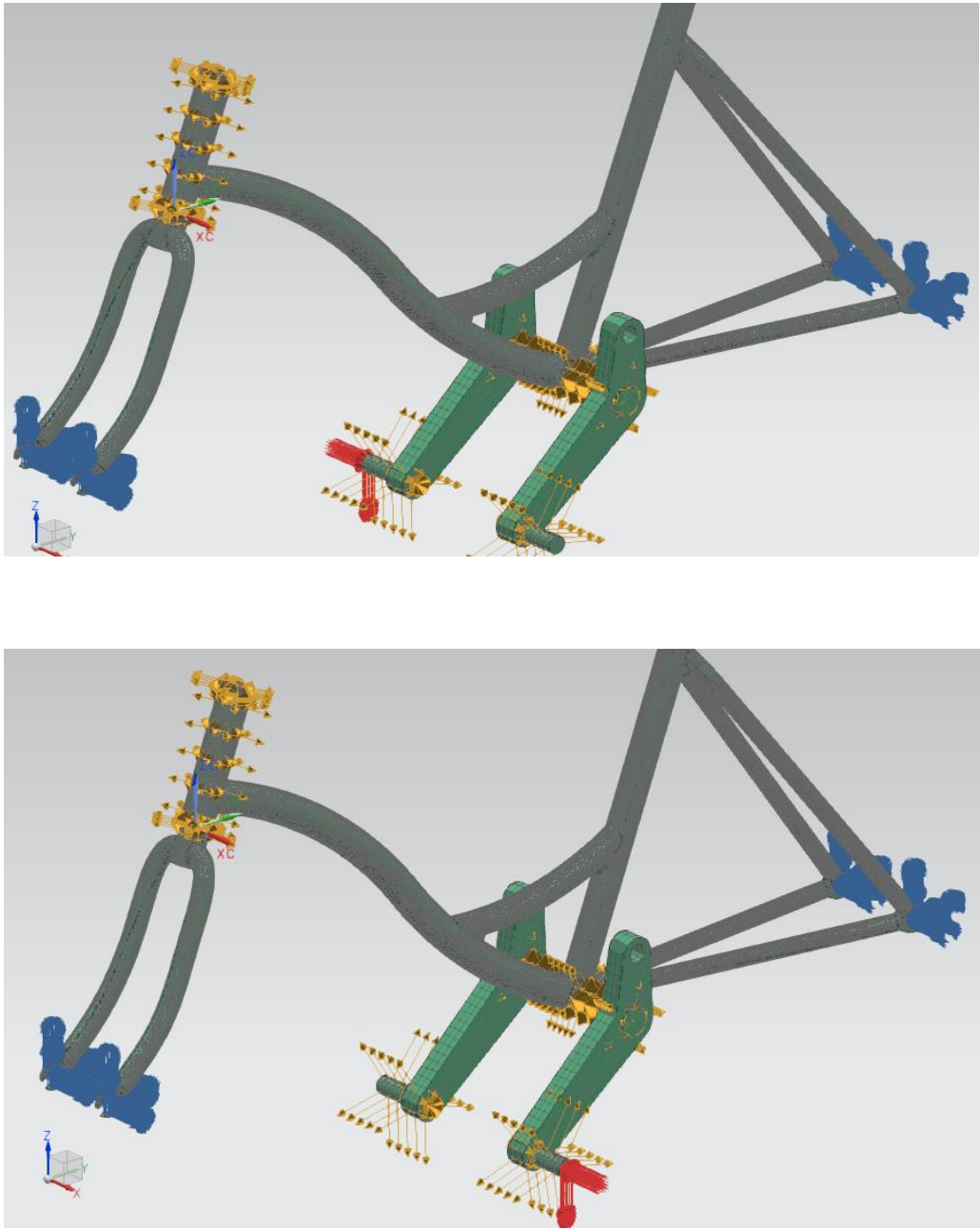
Condiciones de contorno en NX Nastran:

	Creación de dos conjuntos de sustitución del sistema plato-biela-cadena dispuestos simétricos en el tubo de pedalier del cuadro tal y como se muestra en la figura anterior
	Creación de dos conjuntos de sustitución del sistema plato-biela-cadena dispuestos simétricos en el tubo de pedalier del cuadro tal y como se muestra en la figura anterior
	Malla con elementos hexaédricos de 8 nodos en el conjunto de sustitución
	Malla con elementos tetraédricos de 10 nodos en el cuadro, horquilla y rodamientos
	Restricción definida por el usuario en las punteras delanteras y traseras en la que restringimos la translación y la rotación exceptuándola en el eje X (rotación rueda)
	Dos componentes de fuerza, una vertical de 991.44N ( $1000\cos 7.5$ ) y una horizontal de 130.52N ( $1000\sin 7.5$ ) aplicadas sobre el extremo del pedal derecho situado exactamente a 150mm del plano transversal del cuadro
	Dos componentes de fuerza, una vertical de 991.44N ( $1000\cos 7.5$ ) y una horizontal de 130.52N ( $1000\sin 7.5$ ) aplicadas sobre el extremo del pedal izquierdo situado exactamente a 150mm del plano transversal del cuadro

Condiciones de contorno del ensayo de fatiga en NX Nastran una vez finalizado el ensayo estático previo:

	Excitación estáticas correspondiente a la solución de carga sobre el pedal izquierdo
	Excitación estáticas correspondiente a la solución de carga sobre el pedal derecho
	Ciclo de semi-unidad al patrón de la carga izquierda
	Ciclo de semi-unidad al patrón de la carga derecha con un offset de 0.95 con lo cual ésta será aplicada justo cuando la primera carga sin offset alguno haya descendido al 5% tal y como exige la normativa.

Modelo CAE:



**Figura 110. Carga estática pedal izquierdo y derecho.**

*2.5.4.1. Resultados:*

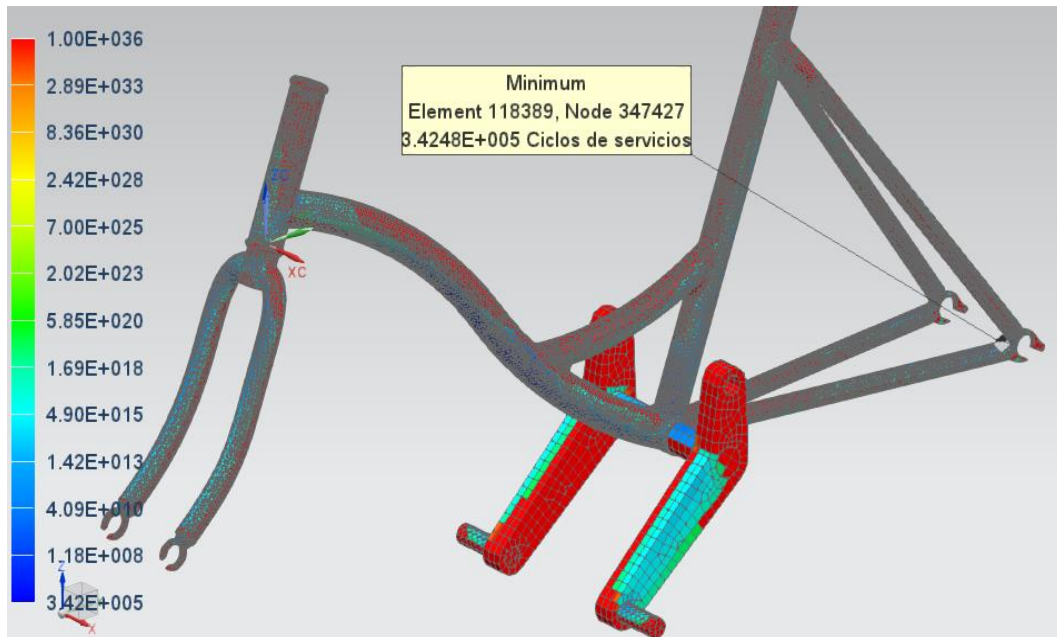


Figura 111. Ciclos de servicio hasta la rotura. Ensayo de fatiga por fuerzas de pedaleo.

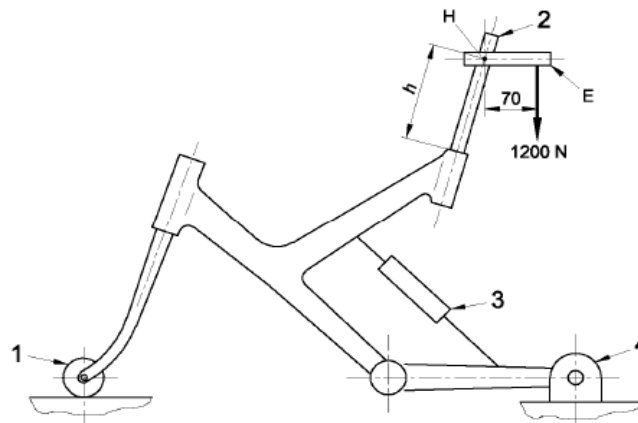
Los mínimos ciclos hasta la rotura aparecen en la zona de la soldadura de unión entre las vainas y los tirantes por lo que la primera fractura de la pieza se originaría en esa soldadura. Los mínimos ciclos de vida a fatiga del cuadro hasta la rotura de esa zona son **342800** por lo que la pieza no sufrirá fisura alguna durante los **100000** ciclos del ensayo realizado. La vida del conjunto ante esa carga es 3 veces superior. Podemos considerar cierta destructividad dado el poco margen de vida respecto los ciclos de ensayo. A continuación se muestra el resumen de tensiones y deformaciones de la carga estática generada

Subcase - Static Loads 1 : Number of Iterations = 1								
	Desplazamiento (mm)				Esfuerzo (mN/mm <sup>2</sup> (kPa))			
	X	Y	Z	Magnitude	Von-Mises	Min Principal	Max Principal	Max Shear
Paso estático 1								
Max	1.190e+000	1.036e+000	5.559e-003	2.830e+000	2.072e+005	5.224e+004	1.761e+005	1.068e+005
Min	-4.561e-001	-1.199e+000	-2.575e+000	0.000e+000	1.854e-005	-2.331e+005	-4.151e+004	1.058e-005

### 2.5.5 Cuadro - horquilla – Ensayo de fatiga con fuerzas verticales:

Se instala el cuadro en su posición normal, fijándolo en las punteras traseras sin limitar la rotación. Se instala un rodillo apropiado en el eje delantero para permitir al cuadro flexionar en el sentido longitudinal bajo el efecto de las fuerzas de ensayo. Se introduce una tija maciza redonda de acero equivalente a una tija

de sillín en la parte superior del tubo de sillín a una profundidad de 75mm y se fija con la ayuda de un dispositivo de sujeción. Se fija rígidamente una extensión horizontal dirigida hacia atrás (E en la figura) a la parte superior de esta tija de tal forma que su longitud (dimensión h) coloca el punto H en una posición equivalente a la del centro del bastidor del sillín cuando la bicicleta está ajustada a la altura máxima de sillín recomendada para el cuadro en cuestión; si no se dispone de información sobre la altura máxima h debe valer 250mm. Se aplican ciclos de fuerza dinámicas verticales de 0 a +1000N en un punto situado detrás de la intersección de los ejes de la tija maciza y de la extensión E como se muestra en la siguiente figura durante 50000 ciclos a una frecuencia de ensayo igual o inferior a 25Hz. Al finalizar el ensayo no debe haber fisura ni rotura visible en el cuadro.





Condiciones de contorno en NX Nastran:

	Creación de una tija maciza de acero (AISI1005) introducido en el tubo del sillín a una profundidad de 75mm y de una extensión de acero (AISI 1005)
	Malla con elementos hexaédricos de 8 nodos en la tija y extensión.
	Malla con elementos tetraédricos de 10 nodos en el cuadro, horquilla y rodamientos
	Restricción definida por el usuario en las punteras delanteras en la que restringimos la rotación y la translación exceptuándola en el eje Y).
	Restricción definida por el usuario en las punteras traseras en la que restringimos la translación y la rotación exceptuándola en la eje X)
	Carga de aceleración de gravedad sobre todo el ensamble de 9.81 m/s <sup>2</sup>
	Fuerza de 1000N en dirección al eje Z en el extremo de la extensión situado a 70mm sobre el punto de intersección entre el eje de la tija o el eje longitudinal de la extensión
	Tiempo de evaluación de la carga de 2000s (=50000ciclos /25Hz)



Frecuencia de la carga de 25Hz

Condiciones de contorno del ensayo de fatiga en NX Nastran:

	Excitación estática correspondiente a la solución estática anterior
	El patrón de la carga corresponde a un ciclo de semi-unidad.

Modelo CAE:

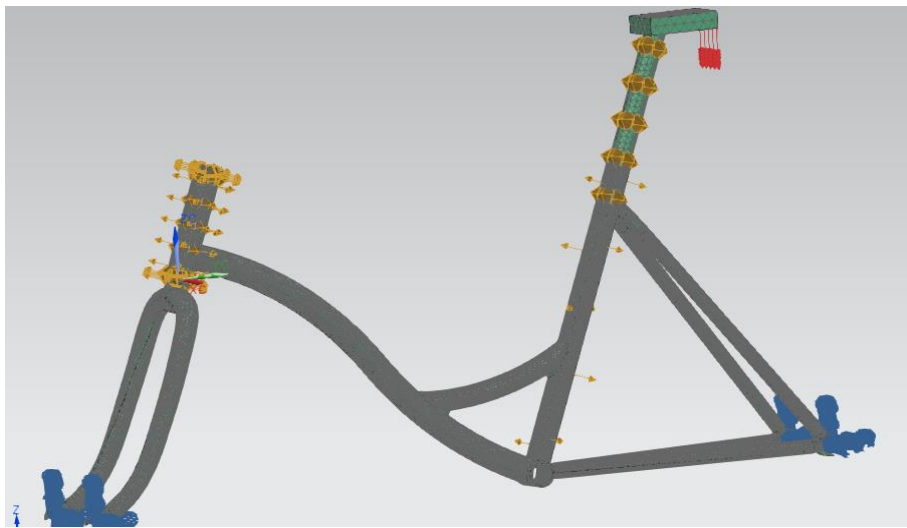


Figura 112. Modelo CAE ensayo de fatiga por fuerzas verticales.

2.5.5.1 Resultados:

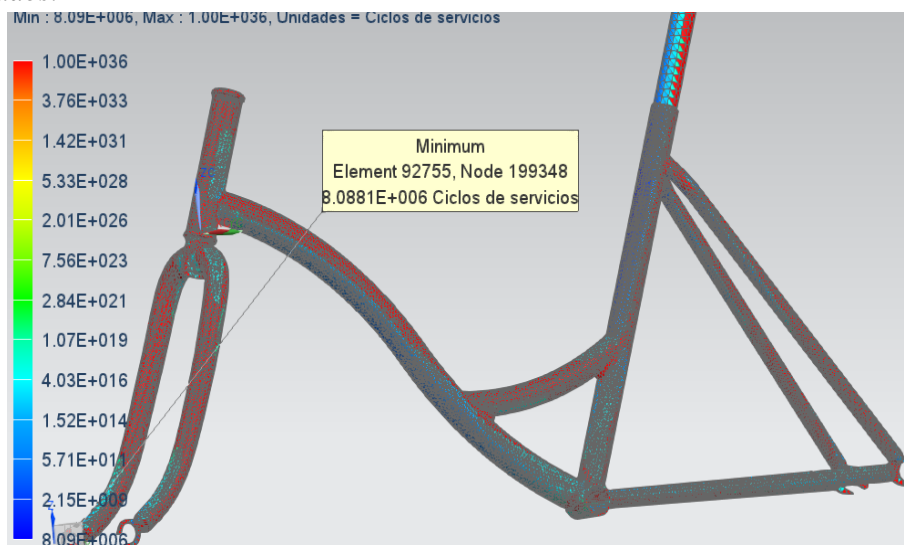


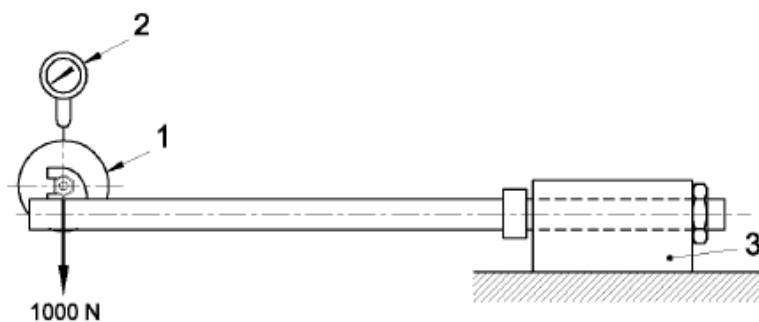
Figura 113. Ciclos de servicio hasta la rotura. Ensayo de fatiga por fuerzas verticales.



Los mínimos ciclos de fatiga hasta la fractura aparecen en las punteras delanteras de la horquilla ya que se ha permitido en el ensayo la translación simulando el rodillo por lo que la amplitud de deformaciones y tensiones en esa zona es máxima. En esa zona los mínimos ciclos de servicio son **8.088.100** muy alejado de los 50000 ciclos del ensayo por lo que el material no sufrirá ninguna fisura durante los 50000 ciclos del ensayo en todo su volumen. Se puede observar la diferencia de durabilidad entre la fatiga debida al pedaleo y al debida a las cargas verticales. En este ensayo la durabilidad a fatiga es de 8.000.000 de ciclos frente a los 300.000, una magnitud de más de 20 veces superior. Esto significa que la bicicleta padece mayor desgaste a lo largo de su vida por el pedaleo del ciclista que por el peso que podamos colocar en la bicicleta (cargas verticales). Esto demuestra la importancia del tubo del pedalier, el cual es el tubo con mayores esfuerzos continuos.

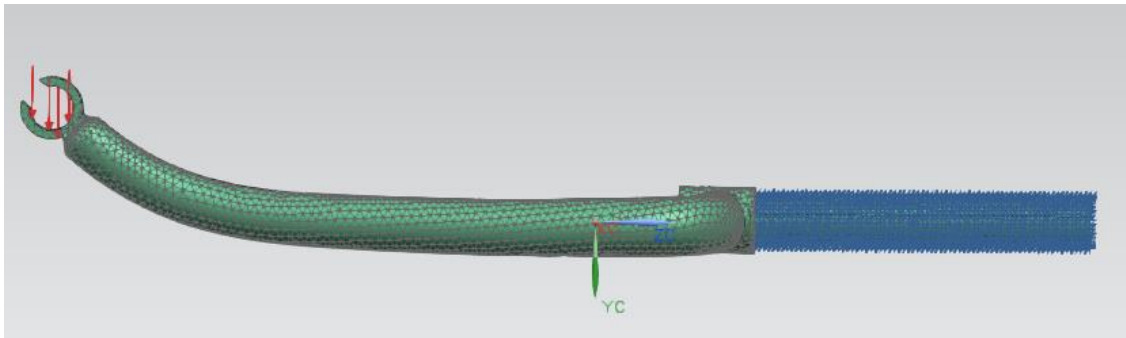
### 2.5.6 Horquilla delantera - Ensayo estático de flexión:

Se coloca la horquilla en un dispositivo de fijación representativo del tubo de dirección sujeto entre los rodamientos de dirección normales y se instala un pivote de rótula de soporte de la carga sobre un eje colocado en las muescas de los brazos. Se coloca un dispositivo de medida de la flecha bajo el punto de fijación para medir la flecha y la deformación permanente perpendicularmente al eje del tubo de dirección. Se aplica al rodillo una fuerza estática de 1000N, se mantiene durante 1min. Se reduce la fuerza a 0 y se mide la deformación permanente.








Requisitos exigidos: no debe haber rotura ni fisura visible en cualquier punto de la horquilla y la deformación permanente medida por el desplazamiento del eje de rotación del eje de la rueda no debe sobrepasar los 5mm en las horquillas rígidas o 10mm en las horquillas de suspensión

**Modelo CAE:**

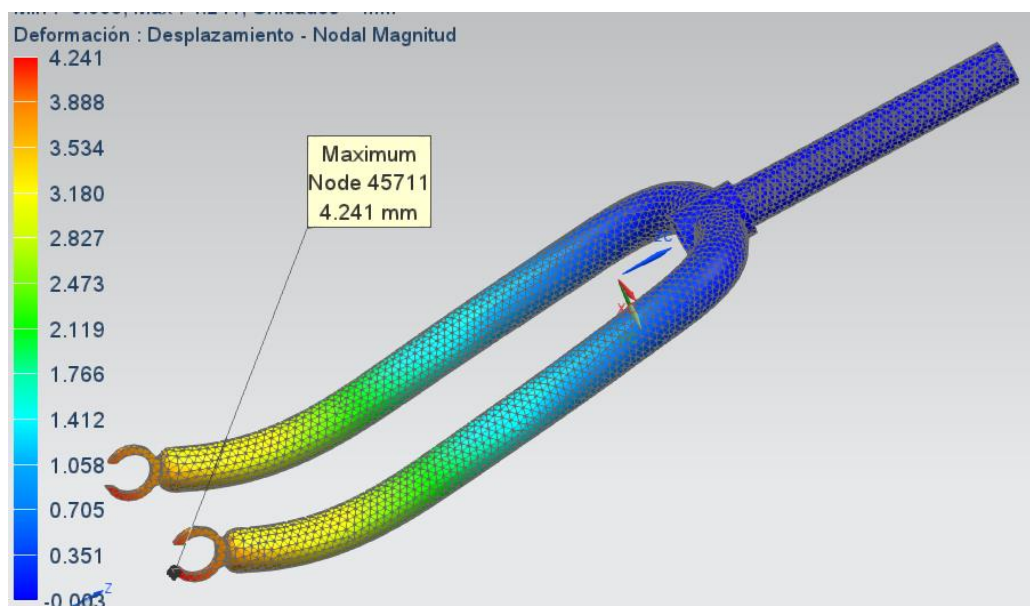


**Figura 114. Modelo CAE horquilla ensayo de flexión**

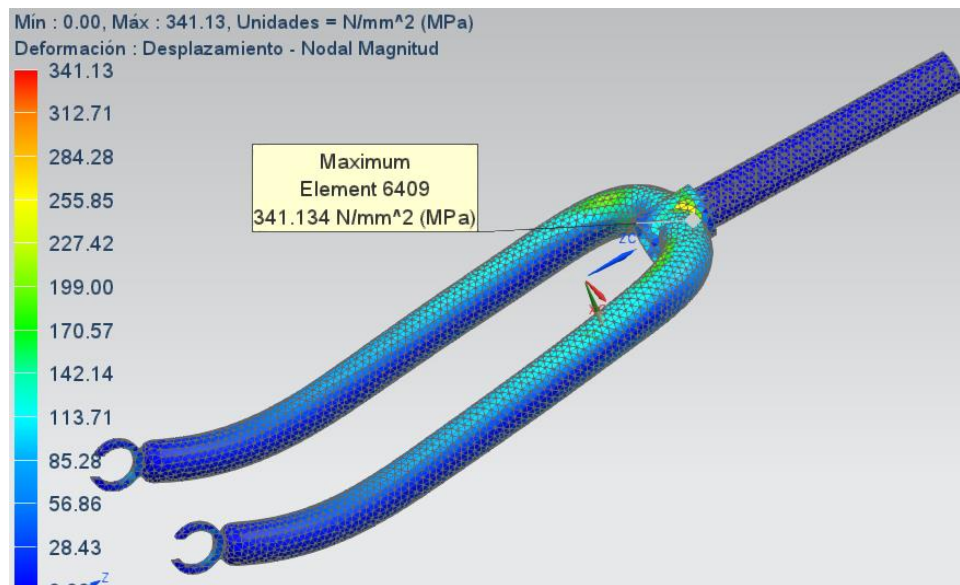
Condiciones de contorno en Nx Nastran:

	Malla con elementos tetraédricos de 10 nodos en la horquilla
	Restricción fija de movimiento sobre la tija de la horquilla
	Carga de aceleración de gravedad sobre la pieza de 9.81 m/s <sup>2</sup> en el eje Y
	Carga de 1000N distribuida uniformemente entre las caras cilíndricas de las punteras de la horquilla
	Tiempo de evaluación de la carga de 1 minuto

#### 2.5.6.1 Resultados:



**Figura 115. Desplazamientos nodales en el eje Y ensayo de flexión horquilla (dirección y sentido de la fuerza)**



**Figura 116. Tensiones de Von Mises en ensayo de flexión horquilla**

Una fuerza de la magnitud aplicada por el ensayo aplicada en la dirección y sentido mostrado sobre la horquilla aproximaría las fuerzas que padecería la horquilla ante un hipotético choque por lo que la finalidad de este ensayo es comprobar la resistencia última de la horquilla. El ensayo exige medir la deformación permanente en la horquilla por lo que se prevé de antemano estados de fluencia del material. Las deformaciones máximas alcanzan valores de 341Mpa superando el límite elástico del material (305Mpa) sin sobrepasar por pocas unidades la resistencia máxima a tracción del material (365MPa). Se muestra la destructividad del ensayo ya que el material ha alcanzado el estado de fluencia y presentará deformaciones permanentes tal y como se preveía en la normativa ya que se cita medir la deformación permanente. En cuanto a la deformación se alcanza un desplazamiento en la zona de las punteras de la horquilla en la dirección y sentido de la fuerza (eje y) de 4.60 sin sobrepasar los 5mm de límite impuesto por el ensayo.

### 3. Presupuesto

#### 3.1 Componentes asignados:

Componentes	Precio (euros)
Frenos Avid Single Digit 5 x2	12.95*2=26
Shimano Nexus SG-3R40 BR-IM31 –R	39.95
Rueda delantera de 24” Shimano	20
Rueda trasera completa (buje Shimano Nexus 3v y llanta )	50.00
Buje con Dinamo Shinamo	25
Schwalbe Maraton plus Smartguard SH348 X2	15.95*2=30
Sillín Ges Confort City	6.95
Diverse Mecanismo de tija gris	7.95
Plato y biela Miranda 1v Fixed 170 46	14.95
Pedales Red cycling sports / Trekking Alu Comp	7.95
Eje Pedalier Shimano BB-UN26:	13.95
Cadena B-twin de 3-7v	6.95
Kit SL100 Reelight, (2 luces, 2 imanes y montaje)	30.
Catadióptrico Busch-Müller x2	0.90*2=1.80
Guardabarros delantero para 24” o 26” XLC	4.95
Guardabarros trasero	6.95
Cubrecadenas para plato de 44/48 dientes	7.95e
BBB Timbre EasyFit BBB-12 negro	2.95e
Tornillería (tuercas, arandelas, juntas, )	20
TOTAL	301.35

### 3.2 Componentes diseñados:

Material	Precio unitario (Euros/m)	Unidades(m)	Total (Euros)
Tubo de Ø 39*2.5	8.95	0.046	0.41
Tubo de Ø 35*2.25	7.50	0.612	4.59
Tubo de Ø 28*2	5.95	0.248	1.47
Tubo de Ø 19*1.5	5.00	0.866x2=	8.66
Tubo de Ø 35*2	7.	0.157	1.1
Tubo de Ø 32.2*2	7.95	0.435	3.45
Tubo de Ø 25*2	5.50	0.164	0.90
Tubo de sección variables con espesor de 2.25(horquilla)	7.95	0.354x2	5.62
Aluminio 5086			5
TOTAL			31.2

Diseño	Precio unitario(euros)	Unidades (h)	Total
Apoyo por software	0	500	0
Coste de ingeniería	20	500	10000
Gastos adicionales (hojas, documentación, fotocopias )			30
Gastos energéticos ( luz, agua, gas)			100
TOTAL			10130

Fabricación	Precio unitario (horas)	Unidades	Total
Curvado de los tubos	20	2	40
Corte y preparación de los tubos	25	2	50
Material soldadura (equipo, electrodos, consumibles,..)	-----		500

Oficial soldadura	30	3	
Material pintura (Pinturas, disolventes)			200
Pintor oficial.	30	2	50
Conformado Manillar	-----	1	25
Conformado Potencia	-----	1	20
TOTAL			885

Coste de materiales y componentes	332.55
Costes de diseño	10130
Costes de fabricación	885
TOTAL	<b>11347.55</b>

### 3.3 Amortización:

Dado el estudio realizado supondremos que hemos obtenido una optimización globalizada del conjunto de la bicicleta. Los cálculos de amortización los haremos en base a los desplazamientos realizados por parte de las bicicletas.. Las cifras aproximadas de coste anuales del Bicing teniendo en cuenta de antecedentes los años anteriores es de 16 millones de euros anuales contando todos lo referente al servicio, logística, maquinaria, mano de obra, piezas, componentes, energía, .... para las más de 6000 bicicletas en circulación actualmente por lo que obtenemos un coste aproximado en euros por día y bicicleta de:

$$\frac{16 \cdot 10^6}{365 * 6000} = 7.3 \frac{\text{euros}}{\text{bicicleta y día}}$$

Se realizan alrededor de unas 600 reparaciones semanales en el bicing. Suponiendo una optimización del 5%, una cifra modesta y razonable nos ahorraríamos el coste semanal de mantenimiento de 30 bicicletas con lo cual:

$$30 * 7.3 = 219 \text{€ ahorro semanal}$$

$$\frac{11347}{219} = 51.81 \text{semanas} = 362.68 \text{días}$$

## 1.10 Bibliografía:

### Páginas web consultadas:

- [www.esab.es/inicio/Formación; Soldadura GTAW/TIG](http://www.esab.es/inicio/Formación; Soldadura GTAW/TIG) ;
- [ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html](http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html); Fundamentos de la soldadura TIG
- [blog.educastur.es/.../ud1-conduccion-y-manejo-de-la-bicicleta](http://blog.educastur.es/.../ud1-conduccion-y-manejo-de-la-bicicleta) ;COMPONENTES DE LA BICICLETA
- [www.cicloturismoactivo.com.ar/ElegirCuadro.pdf](http://www.cicloturismoactivo.com.ar/ElegirCuadro.pdf); bicicleta:entienda su geometría
- [Bicicleta%20Urbana.html](#); la bicicleta urbana
- [Cambio%20interno%20%20aproximación.html](#); cambios internos
- [www.bicivitas.com/Thread-Bicicleta-urbana-Componentes-para-ciudad](http://www.bicivitas.com/Thread-Bicicleta-urbana-Componentes-para-ciudad)
- [www.bicivitas.com/blog/2013/04/cambio-interno/](http://www.bicivitas.com/blog/2013/04/cambio-interno/)
- [www.terra.org/.../los-cambios-internos-de-bicicleta-una-tecnologia-desco](http://www.terra.org/.../los-cambios-internos-de-bicicleta-una-tecnologia-desco)
- [blog.citybici.es/?p=87](http://blog.citybici.es/?p=87) Cambios internos de buje
- [www.bikestocks.es](http://www.bikestocks.es) Equipamientos para bicicleta
- [www.iberisa.com/productos/nxnastran.html](http://www.iberisa.com/productos/nxnastran.html) NX Nastran Solver de análisis finitos
- [www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.htm](http://www.iberisa.com/soporte/fatiga/intro.htm); Introducción al análisis de fatiga
- [www.slideshare.net/mauroespitia/5-fatiga](http://www.slideshare.net/mauroespitia/5-fatiga); 5. fatiga
- [tegmatal.com/CLASIFICACION%20AISL.pdf](http://tegmatal.com/CLASIFICACION%20AISL.pdf) ; clasificación de los aceros AISI
- [ingenieriademateriales.wordpress.com/.../manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones](http://ingenieriademateriales.wordpress.com/.../manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones); Manual del aluminio y sus aleaciones
- [www.iit.upcomillas.es/~carnicero/Resistencia/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.iit.upcomillas.es/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf) ; Introducción al método de los elementos finitos
- [www.unav.es/adi/UserFiles/File/.../Elementos%20Finitos\(2\).pdf](http://www.unav.es/adi/UserFiles/File/.../Elementos%20Finitos(2).pdf); elementos finitos
- [www.kingbarcelona.com](http://www.kingbarcelona.com); componentes para bicicletas
- [www.viesverdes.cat/pdf/documentacio4.pdf](http://www.viesverdes.cat/pdf/documentacio4.pdf) ;UNE-EN14764 norma española
- [la.bicikleta.com](http://la.bicikleta.com); las llantas de la bici urbana
- [es.wikipedia.org/wiki/Pintura\\_electroestática](http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura_electroestática); Pintura electrostática
- [materias.fi.uba.ar/6716/Introduccion%20a%20la%20Fatiga.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6716/Introduccion%20a%20la%20Fatiga.pdf), introducción a fatiga
- <https://www.bicing.cat/es>: Bicing
- [www.ehowenespanol.com](http://www.ehowenespanol.com); técnicas de soldadura para tubos de acero
- [www.ehowenespanol.com](http://www.ehowenespanol.com); procedimientos para soldar acero al carbono
- [www.ehowenespanol.com](http://www.ehowenespanol.com); como cortar tubos de acero
- [www.metalactual.com/revista/29/soldadura\\_doblado\\_tubos.pdf](http://www.metalactual.com/revista/29/soldadura_doblado_tubos.pdf); doblado de tubos
- [www.bikester.es/](http://www.bikester.es/) ; componentes para bicicletas
- [en.wikipedia.org/wiki/Nastran](http://en.wikipedia.org/wiki/Nastran); NX Nastran

- [http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion\\_ambiental/educ/ed\\_amb\\_empresa/pdf/MetalmecanicaC.PDF](http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/ed_amb_empresa/pdf/MetalmecanicaC.PDF)
- <http://shop.reelight.com/>
- <http://www.multibikes.com/>
- <http://www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/1/6/9/7/5/8/Pintura%20Electrostatica.pdf>
- <http://www.ecodes.org/archivo/proyectos/archivo-ecodes/pages/especial/ecodiseno/calonso.html>
- <http://www.unesid.org/iris2013/IRIS%20INFORME%20RECICLAJE%20ACERO%202013.pdf>

#### **Libros y documentos consultados:**

- La ingeniería de la bicicleta-Fundación Esteyco.pdf
- Biciytricyclos.pdf Capítulo VII Las bases científicas de la bicicleta



## 1.11 Anexos:

### 1.11.1 Fatiga de los materiales

#### *1.11.1.1 Introducción a la fatiga:*

La fatiga de los materiales se refiere a un fenómeno por el cual la rotura de los materiales se producen bajo cargas cíclicas y dinámicas que se producen por debajo de las cargas estáticas que provocarían la rotura del material. Cada ciclo de fluctuación de la fuerza va deteriorando la pieza hasta que al alcanzar un número de ciclos determinados la pieza está tan debilitada que rompe por fatiga. Éste es su principal peligro ya que puede crear la fractura del material a una tensión menor que el límite elástico o resistencia a tracción del material. Es un fenómeno muy importante a considerar ya que representa el 90% de las causas de rotura de las piezas metálicas aunque también esta presente en cerámicas y polímeros. La rotura por fatiga tiene aspecto frágil e metales dúctiles puesto que no hay apenas deformación plástica asociada a la rotura. El proceso de rotura de fatiga se define en 3 etapas:

#### - **Fase 1 (Iniciación):**

Una o más grietas se desarrollan en el material. Las grietas pueden aparecer en cualquier punto del material pero en general ocurren alrededor de alguna fuente de concentración de tensión y en la superficie exterior donde las fluctuaciones de tensión son más elevadas. Las grietas pueden aparecer por muchas razones: imperfecciones en la estructura microscópica del material, ralladuras, arañazos, muescas y entallas causados por las herramientas de fabricación o medios de manipulación. En materiales frágiles el inicio de grieta puede producirse por defectos del material (poros e inclusiones) y discontinuidades geométricas.

La deformación en sentido contrario deberá acontecer en otro plano, que obviamente forma otro escalón que se oxida y se suprime la deformación en este nuevo plano. La repetición de este ciclo de deformación, oxidación y bloqueo acaba por formar protuberancias o entrantes en la superficie original del sólido, que concentran tensiones. La situación se agrava y termina por aparecer una microgrieta a partir de estos defectos superficiales que se propaga a lo largo de las bandas persistentes de deslizamiento (formando 45° con la dirección de la tracción).

Cuando un grano, situado en la superficie se deforma, se genera un escalón producido por deslizamiento de dislocaciones en la superficie que inmediatamente se oxida. Una vez oxidada la superficie del escalón resulta imposible invertir la deformación en ese plano.

#### - **Fase 2 (Propagación):**

Etapa 2a: una vez nucleada una grieta, entonces se propaga muy lentamente y, en metales poli-cristalinos, a lo largo de planos cristalográficos de tensión de cizallado alto; las grietas normalmente se extienden en pocos granos en esta fase.

Etapa 2b: la velocidad de extensión de la grieta aumenta de manera vertiginosa y en este punto la grieta deja de crecer en el eje del esfuerzo aplicado para comenzar a crecer en dirección perpendicular al esfuerzo aplicado. La grieta crece por un proceso de enroscamiento y agudizamiento de la punta a causa de los ciclos de tensión.

- Fase 3 rotura:

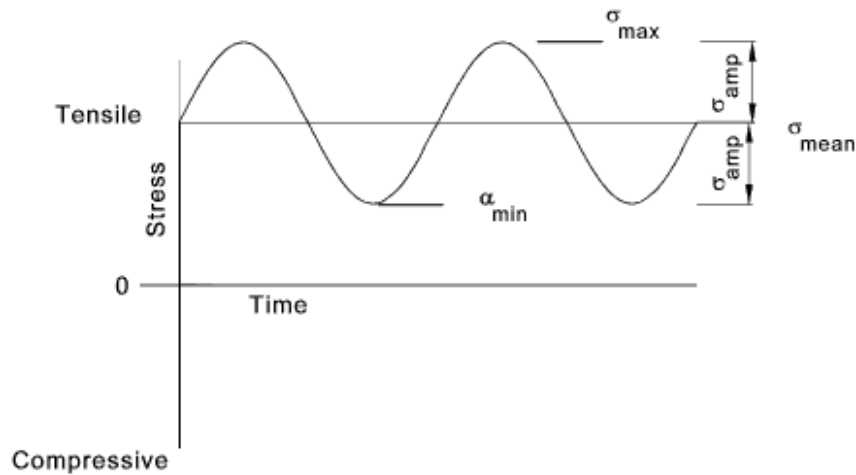
Al mismo tiempo que la grieta aumenta en anchura, el extremo avanza por continua deformación por cizallado hasta que alcanza una configuración enroscada. Se alcanza una dimensión crítica de la grieta y se produce la rotura. La región de una superficie de fractura que se formó durante la etapa II de propagación puede caracterizarse por dos tipos de marcas, denominadas marcas de playa y estrías. Ambas indican la posición del extremo de la grieta en diferentes instantes y tienen el aspecto de crestas concéntricas que se expanden desde los puntos de iniciación. Las marcas de playa son macroscópicas y pueden verse a simple vista

#### ***1.11.1.2 Estimación de vida a fatiga:***

Existen dos factores principales que rigen la cantidad de tiempo que tarda una fisura en producirse y en extenderse lo suficiente como para provocar el fallo de un componente: el material del componente y el campo de tensión. Para el cálculo de la vida a fatiga se emplean 3 metodologías:

Resistencia a la tensión:

Esta metodología para estimar la vida a fatiga se remonta a August Wöhler, quien durante el siglo XIX, estableció y realizó la primera investigación sistemática sobre la fatiga. En ella, afirmaba que la estimación de vida a fatiga dependía del rango de amplitudes de tensión a la que se sometía el elemento de ensayo lo cual dependía de la variación de la carga a lo largo del tiempo. En la siguiente figura se muestran los conceptos básicos de las cargas de fatiga:



**Figura 117. Valores de carga cíclicos**

- Tensión máxima =  $\sigma_{\max}$
- Tensión mínima =  $\sigma_{\min}$
- Tensión media =  $\sigma_{\text{mean}} = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$
- Tensión variable (o tensión alterna, o amplitud de tensión,  $\sigma_r$ ) =  $\sigma_{\text{amp}} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$
- Rango de tensiones  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$
- Razón de tensiones (stress Ratio)  $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$
- Razón de amplitud  $A = \sigma_{\text{amp}} / \sigma_{\text{mean}}$

Para el cálculo de vida a fatiga según la resistencia a la tensión se emplean las curvas denominadas curvas S-N donde se relacionaba el número de ciclos para la falla con la magnitud de las tensiones alternas.

Éstas curvas se obtenían aplicando cargas cíclicas como por ejemplo flexión por rotación, flexión en voladizo, tracción y compresión axial y ciclos de torsión a probetas de ensayo. Los científicos e ingenieros trazaban los datos resultantes de estas pruebas para demostrar la relación entre ellas y obtener las curvas S-N. Las probetas de ensayo se someten a sometiendo a tensiones con una amplitud máxima relativamente grande, alrededor de 2/3 partes de la resistencia estática a tracción. Se cuentan los ciclos hasta rotura. Este procedimiento se repite en otras probetas a amplitudes máximas decrecientes.

La siguiente figura muestra una curva típica S-N. El eje-Y representa la tensión alterna (S) y el eje-X representa el n° de ciclos (N). La curva S-N se basa en un ratio de tensión o tensión media  $s_{\text{mm}}$ . Los valores de S se toman normalmente como amplitudes de la tensión. Para cada material se pueden definir múltiples curvas S-N con diferentes valores de tensión media.

Curva S-N:

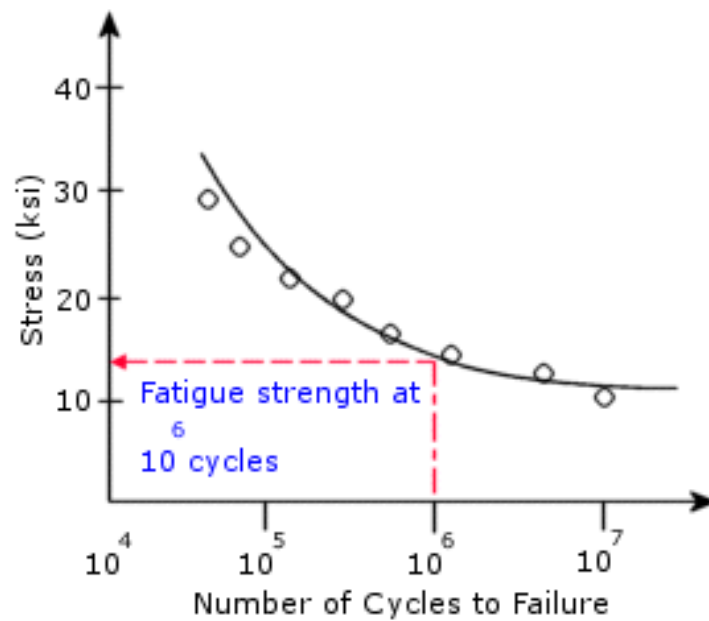


Figura 118. Curva S-N

Analíticamente estas curvas se obtienen por la ecuación de Basquin:

$$S_a = S'_f * (2N_f)^b$$

$S_a$  = Amplitud de tensiones

$S'_f$  = Coeficiente de resistencia a fatiga

$N_f$  = Número de ciclos de variación de la tensión hasta la falla del elemento

$b$  = exponente cuyo valor oscila entre -0.05 y -0.12 en la mayoría de los metales

Este tipo de estimación se basa únicamente en los niveles de tensión y utiliza sólo el método Wöhler. Aunque no es adecuado para componentes con zonas de plasticidad y proporciona una baja precisión para la fatiga de ciclo bajo, es el método más fácil de implementar, dispone de una amplia cantidad de datos de referencia y ofrece una buena representación de la fatiga de ciclo alto. Características básicas:

- Empleado para ensayos con bajo alto número de cargas cíclicas ( $>10^3$ )
- Régimen elástico.
- No se distingue iniciación ni propagación de la grieta. Se obtiene la vida total hasta la rotura de la pieza
- Uso de las curvas S-N

## Resistencia a la deformación unitaria:

Se establece una formulación de vida a partir la amplitud de deformaciones. Se suponen así situaciones en las que la fluencia ocurre en posiciones críticas del componente.

Se trata de zonas con concentración de tensiones o entallas, en las que tensión local se sitúa por encima del límite de fluencia del material, a pesar de que el material de su entorno permanece en régimen elástico. Debido a dicho entorno elástico, la deformación de la zona situada un nivel de carga superior al de fluencia se ve restringida, lo que da lugar una deformación elastoplástica controlada en la zona de entalla. A su vez, estas entallas, debido a la elevada tensión que experimentan, sirven como puntos críticos para el crecimiento de grietas, con lo que el comportamiento frente al fenómeno de fatiga puede relacionarse con ensayos de deformación controlada sobre diferentes probetas. En este caso, se tiene el comportamiento asintótico del espécimen a fatiga. Analíticamente, se presenta a través de la ecuación de Mason- Coffin- Morrow. Esta ecuación se presenta como expresión de ajuste a las asíntotas creadas mediante la ecuación de Basquin, y la ecuación de amplitud de deformaciones

$$\frac{A\varepsilon}{2} = \varepsilon'_f * (2Nf)^c$$

$A\varepsilon$  = amplitud de deformaciones

$\varepsilon'_f$  = coeficiente de ductilidad a la fatiga

$c$  = exponente cuyo valor oscila entre -0.5 – 0.7

De este modo la ecuación de Mason-Coffin-Morrow tiene esta forma:

$$\frac{A\varepsilon}{2} = \frac{S'_e}{E} * (2N_i)^b + \varepsilon'_f * (2N_i)^c$$

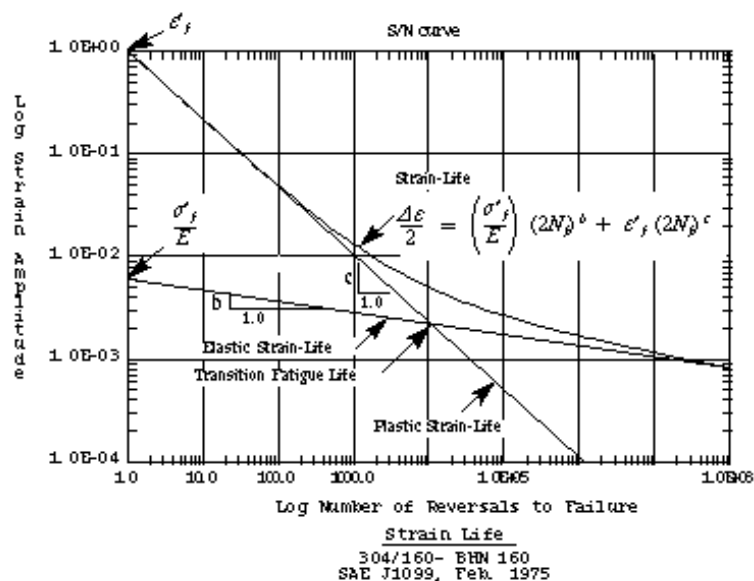


Figura 119. Vida a fatiga por transición; cruce de ecuaciones elásticas y plásticas

Características básicas:

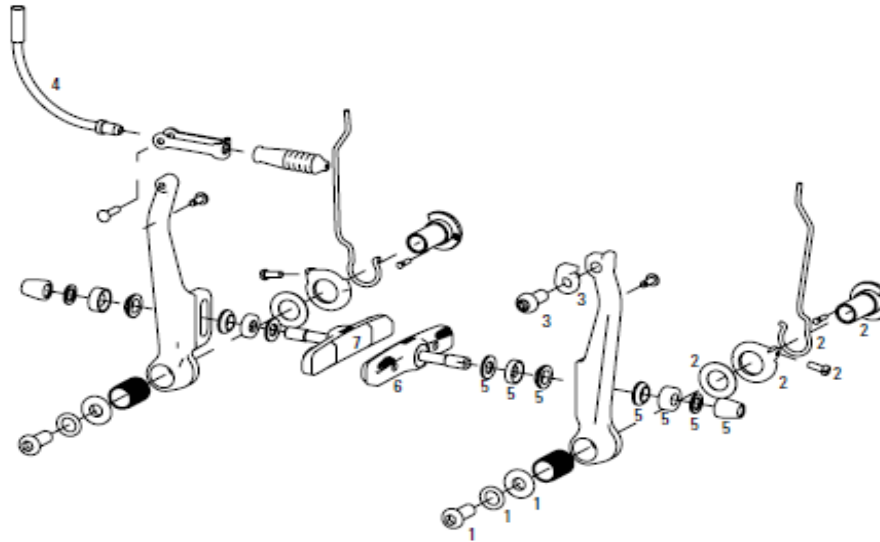
- Se emplea para bajo número de ciclos (  $<10^3$  )
- Se basa en el estudio de deformaciones no de tensiones
- Proporciona un análisis más detallado de la deformación plástica en zonas localizadas
- Los resultados no son del todo concluyentes.

#### 5.5.4.2.3 Mecánica de la fractura lineal:

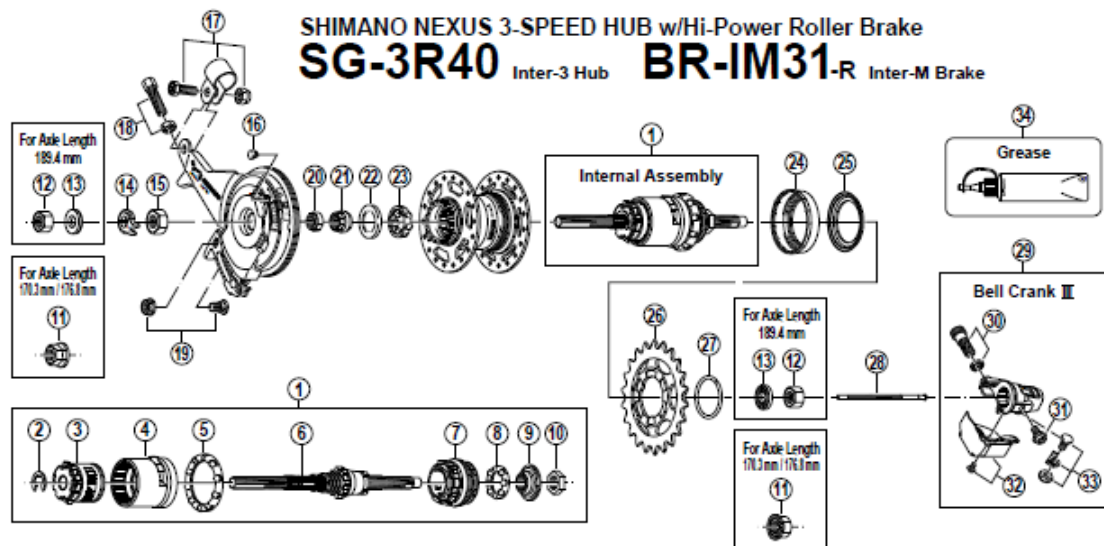
Este método supone que la fisura ya existe y que se ha detectado. Predice la expansión de la fisura en relación con la intensidad de la tensión. Puede ser un método práctico cuando se aplica a estructuras de gran tamaño junto con códigos informáticos e inspecciones regulares.

### 1.11.2 Documentos i catálogos

#### *Frenos Avid Single Digit 5*



1	11.5309.991.000	Single Digit 5/7 Brake Arm Mounting Kit, Qty 2
2	11.5311.630.000	Single Digit 3/5 Brake Arm Spring Kit (L/R)
3	11.5309.989.000	Single Digit 3/5 Cable Anchor Kit, Qty 2
4	11.5362.100.800	Noodle/Overcoat - 90
4	11.5362.200.500	Noodle/Overcoat - 110
4	11.5362.300.200	Noodle/Overcoat - 135
ns	11.5362.402.300	Overcoat (Boot Only), Qty 2
5	11.5310.371.000	Single Digit Pad Hardware Kit (L/R)
ns	11.5309.993.000	Single Digit Hair Pin (Brake pad pin) Kit
6	11.5319.102.000	Rim Brake Pads 20 R Pads Standard (1 set)
6	11.5319.201.000	20 R Pads - Bulk (50 Pair per box)
6	11.5336.101.000	Rim Brake Pads Rim Wrangler 2 Standard Silver (1 set)
6	11.5336.102.700	Rim Brake Pads Rim Wrangler 2 Standard Black (1 set)
7	11.5337.100.200	Rim Brake Pads Rim Wrangler 2 Inserts Standard (1 set)

*Spare parts list for after market.***SHIMANO®**

QTY	ITEM NO.	SHIMANO CODE NO.	DESCRIPTION
	* 1	Y-33S 90700	Internal Assembly (Axle Length 170.3 mm)
		Y-33S 98270	Internal Assembly (Axle Length 176.8 mm)
		Y-33S 90710	Internal Assembly (Axle Length 189.4 mm)
	2	Y-33Y 19000	Stop Ring (φ 9.6 mm)
	3	Y-33S 90400	Carrier Unit
	4	Y-33S 90300	Ring Gear Unit
	5	Y-33R 90220	Ball Retainer K (7/32" x 10)
		Y-33S 98040	Axle Unit (Axle Length 170.3 mm)
	* 6	Y-33S 98280	Axle Unit (Axle Length 176.8 mm)
		Y-33S 98050	Axle Unit (Axle Length 189.4 mm)
	7	Y-33S 90200	Driver Unit
	8	Y-33R 90210	Ball Retainer J (7/32" x 8)
	9	Y-33R 90500	Right Hand Cone w/Dust Seal
		Y-33R 98100	Right Hand Lock Nut (5 mm) for Axle Length 170.3 mm / 189.4 mm
	* 10	Y-32S 30100	Right Hand Lock Nut (9.9 mm) for Axle Length 176.8 mm
	11	Y-220 15010	Flange Nut for Axle Length 170.3 mm / 176.8 mm
	* 12	Y-321 70020	Hub Nut (7 mm) for Axle Length 189.4 mm
		Y-200 03000	Hub Nut (9 mm) for Axle Length 189.4 mm
	13	Y-220 06000	Washer (2 mm) for Axle Length 189.4 mm
		Y-220 06040	Washer (3.2 mm) for Axle Length 189.4 mm
	14	Y-33Z 20200	Non-turn Washer 2 (Yellow)
	* 15	Y-75V 13000	Brake Unit Fixing Nut (8.2 mm) for Axle Length 170.3 mm / 189.4 mm
		Y-75V 13010	Brake Unit Fixing Nut (9.7 mm) for Axle Length 176.8 mm
	16	Y-75V 16010	Grease Hole Cap
	*	Y-75M 98050	Brake Arm Clip Unit (φ 15 mm)
	* 17	Y-33F 98090	Brake Arm Clip Unit (5/8")
		Y-75M 98060	Brake Arm Clip Unit (11/16")
	*	Y-33F 98100	Brake Arm Clip Unit (3/4")
	18	Y-75Y 98050	Brake Cable Adjusting Bolt & Nut
	19	Y-75Y 98060	Inner Cable Fixing Bolt & Nut
	20	Y-31Z 06020	Lock Nut for Left Hand Cone
	21	Y-33M 37000	Left Hand Cone
	22	Y-31Z 07000	Left Hand Dust Cap
	23	Y-321 90220	Ball Retainer A (1/4" x 7)
	24	Y-33R 05000	Right Hand Dust Cap A
	* 25	Y-33R 52001	Right Hand Dust Cap B
		Y-322 03200	Sprocket Wheel 16T (Black)

		Y-73T 21830	Sprocket Wheel 18T (Black)
		Y-73T 21930	Sprocket Wheel 19T (Black)
	26	Y-73T 22030	Sprocket Wheel 20T (Black)
		Y-73T 22130	Sprocket Wheel 21T (Black)
		Y-73T 22230	Sprocket Wheel 22T (Black)
	*	Y-73T 22330	Sprocket Wheel 23T (Black)
	* 27	Y-321 20010	Snap Ring C
	*	Y-33R 98080	Push Rod (81.85 mm) for Axle Length 170.3 mm
	* 28	Y-33S 98180	Push Rod (86.85 mm) for Axle Length 176.8 mm
	*	Y-33S 98290	Push Rod (90.75 mm) for Axle Length 189.4 mm
	29	Y-33S 95100	Bell Crank III Unit
	30	Y-33S 98010	Cable Adjusting Bolt & Nut
	31	Y-33S 57000	Bell Crank Body Fixing Bolt
	32	Y-33S 98020	Bell Crank Cover & Fixing Screw
	33	Y-33S 98030	Inner Cable Fixing Bolt Unit
		Y-041 20600	Internal Hub Grease (Net. 100g)
	34	Y-041 20400	Roller Brake Grease (Net. 100g)

IL/SG Printed in Japan 0011-1836A



Neumáticos Schwalbe Maraton Plus:

Se presentan los catálogos de la marca alemana la cual provee actualmente de neumáticos a las bicicletas Bicing. La gama “Maraton Plus ofrece una rodadura suave ideal para las bicicletas urbanas y ciclo-turismo además de sistemas anti-pinchazos muy útiles en ciudad.

**La nueva cubierta antipinchazos.** Después de 10 años, hemos mejorado significativamente la Marathon Plus. La única cubierta realmente antipinchazos tiene un nuevo perfil dinámico e incorpora muchas mejoras internas:

**Resistencia a la rodadura.** Cuando se compara con todos los productos genéricos, la gruesa capa SmartGuard patentada de 5 mm, tiene ventajas significativas en la resistencia a la rodadura. Y las hemos ampliado en la versión más reciente.

**Reciclaje.** También en la SmartGuard utilizamos ahora una parte de goma reciclada de productos de látex.

**Flanco “antienviejecimiento”** Ahora tiene una mayor duración antes de desarrollar grietas inapreciables cuando se utiliza con presiones demasiado bajas.

**A punto para la bicicleta eléctrica.** Los principales tamaños han sido probados y aprobados para bicicletas eléctricas de hasta 50 km/h. Los siguientes modelos incorporan la marca ECE-R75: 47-406, 47-559, 37-622, 40-622, 47-622.

Velocidad	Agarre	Protección	Duración
<div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Rozamiento ****</div> <div>Peso **</div>	<div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Mojado ****</div> <div>Pista **</div> <div>Invierno **</div>	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div>Pinchazo *****</div> <div>Flancos *****</div>	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>



NEW		MARATHON PLUS		HS 440, Performance Line, Aro rígido															
	ETRTO	Size	!	ECE	🌀	🔍	Skin	Bar	Psi	👤	👤	EPI	Load	Art.-No.	€				
16"	35-349	16x1.35	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	4.5-7.5	65-110	480	17	67	65 kg	11100756	36,90				
	35-406	20x1.35	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	4.5-7.0	65-100	560	20	67	70 kg	11100757	36,90				
20"	47-406	20x1.75	SmartGuard	•	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-5.0	50-70	725	25	67	80 kg	11100758	36,90				
	47-507	24x1.75	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	920	32	67	95 kg	11100759	36,90				
24"	47-507	24x1.75	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	920	32	67	95 kg	11100759	36,90				
	35-559	26x1.35	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	4.5-7.0	65-100	775	27	67	85 kg	11100760	36,90				
26"	40-559	26x1.50	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.5	55-95	870	31	67	100 kg	11100761	36,90				
	47-559	26x1.75	SmartGuard	•	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	995	35	67	109 kg	11100762	36,90				
26"	50-559	26x2.00	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	2.0-5.0	30-70	1100	39	67	118 kg	11100763	36,90				
	37-590	26x1 3/8, 650x35A	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.0	55-85	850	30	67	90 kg	11100764	36,90				
26"	42-590	26x1 5/8, 650x40A	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	940	33	67	95 kg	11100765	36,90				
	25-622	28x1.00, 700x25C	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	6.0-8.0	85-115	595	21	67	75 kg	11100766	36,90				
28"	28-622	28x1.10, 700x28C	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	5.5-7.5	80-110	750	26	67	85 kg	11100767	36,90				
	32-622	28x1.25, 700x32C	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	4.5-6.5	65-95	810	28	67	90 kg	11100768	36,90				
28"	37-622	28x1.40, 700x35C	SmartGuard	•	Endurance	Black-Reflex	Twin	4.0-6.0	55-85	900	32	67	95 kg	11100769	36,90				
	40-622	28x1.50, 700x38C	SmartGuard	•	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	960	34	67	100 kg	11100770	36,90				
28"	47-622	28x1.75	SmartGuard	•	Endurance	Black-Reflex	Twin	3.0-5.0	45-70	1100	39	67	115 kg	11100771	36,90				
	40-635	28x1 1/2, 700x38B	SmartGuard		Endurance	Black-Reflex	Twin	3.5-6.0	50-85	1010	35	67	110 kg	11100772	36,90				

4.- Planos